



**Avaliação do impacto no desempenho energético de  
edifícios sujeitos às metodologias de comissionamento: caso  
particular de edifícios escolares**

*Rui Emanuel Sousa Cardoso*

**Dissertação do MIEM**

Orientador na FEUP: Prof. José Luís Coelho Alexandre

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Especialização de Energia Térmica

julho, 2015



*"There is no energy crisis, only a crisis of ignorance"*

*R. Buckminster Fuller*

*Aos meus pais, irmã e namorada*



## Resumo

A presente dissertação tem como principal objetivo avaliar o impacto no desempenho energético dos edifícios sujeitos às metodologias de comissionamento, sendo o edifício escolar o caso particular de estudo.

Por forma a poder aplicar o conceito e as metodologias que estão inerentes ao comissionamento de edifícios tornou-se essencial apresentar uma revisão bibliográfica sobre o tema. Numa primeira fase deu-se a conhecer a evolução histórica do conceito e do processo de comissionamento procurando também compreender o seu impacto na indústria da construção. Em seguida, avaliou-se o processo de comissionamento para novos edifícios e edifícios existentes numa perspetiva de análise custo-benefício, onde se exibem os pontos fortes e os pontos fracos do processo com base nos estudos mais recentes efetuados nesta área. Posteriormente, enuncia-se com maior detalhe o conceito de comissionamento e as respetivas variantes do termo. Depois segue-se uma exploração dos processos de comissionamento (para novos edifícios) e de retro comissionamento (para edifícios existentes), onde se foca as diferentes fases de cada processo, os documentos mais importantes e ainda as responsabilidades dos intervenientes mais ativos.

Foram cinco os casos alvo de análise: cinco escolas destinadas ao ensino secundário, situadas no Norte de Portugal. São edifícios que estão inseridos no programa de modernização das escolas do ensino secundário, PMEES, e que serão submetidos a uma avaliação que se divide em duas perspetivas distintas. A primeira consiste em analisar os cinco casos sobre o escrutínio das metodologias inerentes ao processo de comissionamento. Pretende-se avaliar quais as ações e tarefas que se realizaram durante toda a conceção, operação e manutenção e perceber qual o nível de potencial de poupança atingido por cada edifício, sendo que idealmente, se o processo de comissionamento fosse devidamente aplicado, ter-se-ia um potencial de poupança de 100%. A segunda abordagem consiste numa avaliação de apenas dois casos, com o objetivo de atribuir uma categoria de retro comissionamento de 1 a 4, em que quanto mais próximo da categoria 1, mais aconselhável se torna aplicar as metodologias de retro comissionamento ao edifício.

Conclui-se que as escolas avaliadas iriam beneficiar muito da aplicação dos processos de comissionamento, pois o potencial de poupança que se poderia obter é elevado. Do que foi possível apurar, os objetos de estudo são bons candidatos a que se implemente o retro comissionamento.

O comissionamento de edifícios apresenta-se como um processo que possui muitos benefícios, não só energéticos como também de impacto não energético com destaque para a melhoria das condições interiores do edifício, o aumento da vida útil dos equipamentos ou a documentação atualizada e de maior qualidade. Se é verdade que, como qualquer processo, apresenta desvantagens, também é verdade que estas são facilmente ultrapassadas depois de se concluir que o processo é uma mais-valia para o desempenho global dos sistemas e instalações.



## **Impact of the assessment of the energy performance in buildings submitted to commissioning methodologies: the particular case of school buildings**

### **Abstract**

The present dissertation has the main objective to evaluate the impact in the energy performance of buildings submitted to commissioning methodologies and school building is the particular case study.

In order to be able to apply the concepts and methodologies that are inherent to the building commissioning it is essential to present a literature review on the subject. In an initial stage it came forward the historic evolution of the concept and the commissioning process also searching to understand his impact on the construction industry. Next, the process of commissioning for new and existing buildings was evaluated in perspective of a benefit-cost analysis, which displays the strengths and weaknesses of the process based on the most recent studies conducted in this area. Subsequently, it's enunciated in greater detail the concept of commissioning and the respective variants of the word. It is followed by an exploration of the commissioning processes (for new buildings) and retrocommissioning (for existing buildings), which focus on the different phases of each one, the most important documents and responsibilities of the people involved.

There were five cases in analysis: five secondary schools, located in the north of Portugal. The selected buildings are included in the modernization program of secondary schools (PMEES) which will be subject to an assessment which is divided into two distinct perspectives. The first one analyses the scrutiny of methodologies inherent to the commissioning process of the five study cases, in which it aims to assess what actions and tasks were performed throughout the design, operation and maintenance and understand the potential of savings reached for each building. Ideally, if the commissioning process was properly implemented, it would have a saving potential of 100%. The second approach only involve two study cases with the purpose of assign a retrocommissioning category from 1 to 4, where the lower category (1) means that the implement of the retrocommissioning methodologies in the building is advisable.

In conclusion, the evaluated schools would benefit greatly from the application of the commissioning process, because the potential savings are very high. From what has been possible to determine the objects of study are good candidates for the implement of retrocommissioning.

The building commissioning presents many benefits not only energetic but also non-energy impacts with emphasis to improve the interior conditions of the building, increased equipment life or updated documentation with quality. If it is true that, like any process, has disadvantages it is also true that these are easily overcome after concluding that the process is an added value to the overall performance of the systems and facilities.





## Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao Professor José Luis Alexandre por ter proporcionado a oportunidade de estudar um tema inovador no que à realidade portuguesa diz respeito e, por conseguinte, ter promovido em mim o gosto pela temática do comissionamento. Agradeço também pela orientação e apoio no que à condução do desenvolvimento da dissertação diz respeito.

Quero agradecer ao Professor Álvaro Santos, ao Professor Uberto Pinto, ao Professor José Fundo e ao Professor Isolino Barbosa pela abertura e disponibilidade demonstradas. Agradeço ainda ao senhor Rúben e ao senhor Joaquim Reis pela ajuda imediata no que à compreensão das questões de operação e manutenção dos edifícios diz respeito.

Um agradecimento particular à Eng.<sup>a</sup> Karla Gonçalves pela ajuda prestada essencialmente na fase final deste trabalho.

Um muito obrigado ao Eng.<sup>o</sup> Duarte Borges pela sua disponibilidade e boa vontade, ajudando na compreensão do funcionamento dos estabelecimentos escolares no que às questões de projeto, de construção e de comunicação concerne. Agradeço ainda o apoio por parte da Eng.<sup>a</sup> Marta Costa e do Eng.<sup>o</sup> Fernando Milheiro que permitiram estabelecer o contacto com a Parque Escolar e que no fundo possibilitou a abordagem aos casos práticos.

Um muito obrigado a todos os meus amigos que quer estejam por perto ou do outro lado do mundo sempre, sempre me apoiaram desde o primeiro dia.

Um obrigado muito especial à Juliana que esteve sempre presente, nos bons momentos e nos momentos mais difíceis. Com ela partilhei grande parte desta caminhada, a pessoa que mais me influenciou e auxiliou.

Por último, mas não menos importante, aos meus pais e irmã, que acreditaram sempre em mim, na minha capacidade de superação e que em tudo contribuíram para que hoje eu pudesse estar aqui a demonstrar todo o orgulho que nutro por eles.



# Índice de Conteúdos

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Acrónimos.....</b>	<b>xvi</b>
<b>Capítulo 1 – Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivação e enquadramento .....	1
1.2. O que é o comissionamento?.....	4
1.3. Caso de estudo .....	5
1.4. Objetivos e estrutura da dissertação.....	7
<b>Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>9</b>
2.1. Evolução do conceito de comissionamento .....	9
2.1.1. Visão geral da indústria sobre o comissionamento .....	9
2.1.2. Impacto do comissionamento na indústria da construção .....	10
2.1.3. Projetos a nível internacional .....	11
2.2. Análise custo-benefício do comissionamento de edifícios.....	12
2.2.1. O que motiva a aplicação do comissionamento .....	12
2.2.2. Deficiências e medidas de melhoramento .....	13
2.2.3. Vantagens do comissionamento .....	16
2.2.4. Custos do comissionamento .....	19
2.2.5. Poupanças do comissionamento.....	24
<b>Capítulo 3 – Comissionamento .....</b>	<b>33</b>
3.1. Diferença entre comissionamento e auditoria .....	34
3.2. O Processo de Comissionamento, PC .....	35
3.2.1. Fases do Processo de Comissionamento (PC).....	37
3.2.2. Documentação do PC.....	49
3.3. O Processo de Retro Comissionamento .....	54
3.3.1. Fases do Processo de Retro Comissionamento (PRC) .....	57
3.4. Os intervenientes e as suas responsabilidades.....	65
<b>Capítulo 4 – Caso prático .....</b>	<b>67</b>
4.1. O PMEES – Intenções e orientações.....	67
4.1.1. Objetivos do Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário (PMEES) .....	67
4.1.2. Orientações do Manual de Projeto – Sistemas AVAC.....	68
4.2. Casos de estudo .....	70
4.2.1. Documentação e Investigação (D&I) .....	70

4.2.2. E se o comissionamento fosse aplicado? .....	74
4.2.3. O edifício é um bom candidato ao retro comissionamento? .....	83
4.3. Discussão de resultados.....	88
4.4. Análise SWOT .....	90
<b>Capítulo 5 – Conclusões.....</b>	<b>93</b>
<b>Capítulo 6 – Trabalhos futuros.....</b>	<b>97</b>
<b>Referências.....</b>	<b>99</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>103</b>
Anexo A – Projetos de comissionamento a nível internacional .....	103
Anexo B – Fluxograma do Processo de Comissionamento .....	106
Anexo C – Fluxograma do Processo de Retro Comissionamento .....	107
Anexo D – Requisitos do Dono de Obra, RDO .....	108
Anexo E – Memória Descritiva, MD .....	111
Anexo F – Plano de Comissionamento, P <sub>L</sub> C.....	113
Anexo G – Manual dos Sistemas, MS .....	117
Anexo H – Matriz de documentos do PC.....	119
Anexo I – Responsabilidades dos intervenientes no PC .....	122
Anexo J – Exemplo de listas de controlo da construção .....	125
Anexo K – Exemplo de uma sessão de formação .....	126
Anexo L – Profundidade de aplicação do comissionamento .....	127
Anexo M – Matriz do Processo de Comissionamento, M-PC .....	128
Anexo N – Matriz do Processo de Retro Comissionamento, M-PRC.....	136

## Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução e distribuição do consumo mundial de energia. [2] .....	1
Figura 2 - Distribuição do consumo energético mundial por setores e respetivo potencial de poupança. [3] .....	2
Figura 3 - Perfis de utilização da eletricidade e do gás natural para escolas. [5] .....	3
Figura 4 - Principais razões invocadas para aplicação do comissionamento em edifícios novos e existentes. [20] .....	13
Figura 5 - Caracterização das deficiências encontradas nos edifícios existentes. [20] .....	13
Figura 6 - Caracterização das deficiências encontradas nos edifícios novos. [20] .....	14
Figura 7 - Categorias de problemas detetados. [21] .....	15
Figura 8 - Impacto do comissionamento nos edifícios já existentes. [20] .....	17
Figura 9 - Impacto do comissionamento nos novos edifícios. [20] .....	18
Figura 10 - Custo do comissionamento em edifícios existentes e novos (€/m <sup>2</sup> ). [15] .....	20
Figura 11 - Distribuição dos custos do processo de retro comissionamento - Edifícios Existentes. [20] .....	21
Figura 12 - Distribuição dos custos do processo de comissionamento - Edifícios Novos. [20] ..	21
Figura 13 - Custos por unidade de área do comissionamento para novos edifícios. [24] .....	23
Figura 14 - Como pagar o comissionamento. [7] .....	25
Figura 15 - Poupança de custos por ano. [15] .....	26
Figura 16 - Poupança energética (%). [15] .....	26
Figura 17 - Os quatro indicadores: a) período de retorno; b) relação custo-benefício; c) retorno monetário; d) redução do impacto ambiental. [15] .....	28
Figura 18 - Poupanças energéticas provenientes da aplicação de comissionamento em edifícios existentes e poupanças adicionais sobre a perspetiva de 3 tipos de estratégias. [15] .....	29
Figura 19 - Persistência das poupanças do comissionamento (consumo como % do ano base). [15] .....	30
Figura 20 - Persistência das poupanças do comissionamento (variação das poupanças a partir do primeiro ano). [15] .....	31
Figura 21 - Fases do PC com as respetivas tarefas e objetivos fundamentais. ....	37
Figura 22 - Diagrama com a atribuição dos grupos a cada uma das fases – M-PC. ....	75
Figura 23 - Desenvolvimento do fluxograma - M-PC. ....	76
Figura 24 - Potencial de poupança ao longo das fases do PC. [7] .....	77
Figura 25 - Atribuição do grau de importância a cada questão. ....	78
Figura 26 - Graus de importância dos grupos em cada fase do processo de comissionamento. ....	79
Figura 27 - Visão global das respostas para cada caso de estudo. ....	82
Figura 28 - Visão global das respostas para cada caso de estudo. ....	86
Figura 29 - Evolução temporal e respetivo enquadramento dos projetos. ....	89
Figura 30 - Análise SWOT ao comissionamento de edifícios [34] .....	91
Figura 31 - Fluxograma do PC. [23] .....	106
Figura 32 - Fluxograma do PRC. [31] .....	107
Figura 33 - Índice do RDO. [19] .....	110
Figura 34 - Estrutura típica de uma MD. [19] .....	112
Figura 35 - Índice do P.C. [19] .....	116
Figura 36 - Índice de um MS para sistemas de AVAC. [19] .....	118
Figura 37 - Listas de controlo da construção para a caldeira e para o chiller. [19] .....	125

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Que tipo de comissionamento devo aplicar ao meu edifício? [9].....	4
Tabela 2 - Estado de desenvolvimento do PC a nível internacional [6], [14], [18] .....	11
Tabela 3 - Exemplos de anomalias para cada uma das categorias [21] .....	15
Tabela 4 - Custos estimados do comissionamento para novos edifícios [7].....	22
Tabela 5 - Poupanças provenientes dos impactos não energéticos [20].....	27
Tabela 6 - Tipos de comissionamento e a sua diferenciação [27] .....	34
Tabela 7 - Prioridades do comissionamento e da auditoria energética em edifícios existentes [27] .....	35
Tabela 8 – Tarefas fundamentais da fase de pré-projeto [29].....	38
Tabela 9 – Tarefas fundamentais da fase de projeto de execução [28] .....	40
Tabela 10 – Tarefas fundamentais da fase de construção [28], [29] .....	44
Tabela 11 – Tarefas fundamentais da fase de operação e manutenção [28], [29].....	47
Tabela 12 - Comissionamento vs Retro comissionamento [15], [31] .....	55
Tabela 13 – Tarefas fundamentais da fase de planeamento [31].....	57
Tabela 14 - Documentação concluída no final da fase de planeamento [31].....	59
Tabela 15 – Tarefas fundamentais da fase de investigação [31] .....	60
Tabela 16 - Documentação concluída no final da fase de investigação [31] .....	62
Tabela 17 - Tarefas fundamentais da fase de execução [31] .....	62
Tabela 18 - Documentação concluída no final da fase de execução [31] .....	63
Tabela 19 - Tarefas fundamentais da fase de transição [31] .....	64
Tabela 20 - Documentação concluída no final da fase de transição [31] .....	65
Tabela 21 - Tratamento e soluções para os diferentes espaços escolares [33].....	69
Tabela 22 - Área e período de construção para cada escola .....	70
Tabela 23 - Compilação técnica - panorama atual dos casos de estudo .....	71
Tabela 24 - Quadro resumo de custos e poupanças do comissionamento [15] .....	74
Tabela 25 - Atribuição do grau de importância a cada fase.....	77
Tabela 26 - As opções de resposta e o seu significado .....	80
Tabela 27 - Síntese das respostas obtidas nas matrizes do PC para os 5 casos de estudo.....	81
Tabela 28 - Panorama geral dos casos de estudo em relação ao PC .....	81
Tabela 29 - Quadro resumo - o que se poupa e o que se poderia poupar .....	83
Tabela 30 - Atribuição do grau de importância a cada fase.....	84
Tabela 31 - Síntese das respostas obtidas nas matrizes do PRC para os 2 casos de estudo, I e II .....	85
Tabela 32 - Categorias e critérios para aplicação do processo de retro comissionamento .....	86
Tabela 33 - Resultados das M-PRC .....	87
Tabela 34 - Poupança, custo e período de retorno - caso particular de edifícios escolares [27]87	87
Tabela 35 - Poupança desaproveitada pela não aplicação do PC .....	88
Tabela 36 - Categoria dos casos de estudo A e B.....	90
Tabela 37 - Resumo da avaliação aos casos de estudo I, II, III, IV e V .....	93
Tabela 38 - O estado de desenvolvimento e os projetos do PC a nível internacional [6], [14], [18] .....	103
Tabela 39 - Matriz de toda a documentação desenvolvida no PC [23].....	119
Tabela 40 - Três perspetivas diferentes [41].....	127
Tabela 41 - Questionário - análise da M-PC.....	128

Tabela 42 - M-PC para o caso I .....	131
Tabela 43 – M-PC para o caso II .....	132
Tabela 44 - M-PC para o caso III .....	133
Tabela 45 - M-PC para o caso IV.....	134
Tabela 46 - M-PC para o caso V.....	135
Tabela 47 - Questionário - análise da M-PRC.....	136
Tabela 48 - M-PRC para o caso I.....	137
Tabela 49 - M-PRC para o caso II.....	138

## Acrónimos

<b>AC</b>	Autoridade de comissionamento
<b>AVAC</b>	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
<b>AVAC&amp;R</b>	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado e Refrigeração
<b>CIBSE</b>	<i>Chartered Institution of Building Services Engineers</i>
<b>D&amp;I</b>	Documentação e informação
<b>EC</b>	Equipa de Comissionamento
<b>ENE</b>	Estratégia Nacional para a Energia
<b>E.P.E.</b>	Entidade Pública Empresarial
<b>FC</b>	Fase de Construção
<b>FE</b>	Fase de Execução
<b>FI</b>	Fase de Investigação
<b>FO&amp;M</b>	Fase de Operação e Manutenção
<b>FPT</b>	<i>Functional Performance Testing</i>
<b>FP</b>	Fase de Planeamento
<b>FPP</b>	Fase de Pré-Projeto
<b>FPE</b>	Fase de Projeto de Execução
<b>FT</b>	Fase de Transição
<b>GEE</b>	Gases de Efeito de Estufa
<b>GTC</b>	Gestão Técnica Centralizada
<b>GI</b>	Grau de importância
<b>LEED</b>	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
<b>MS</b>	Manual dos Sistemas
<b>M-PC</b>	Matriz do processo de comissionamento
<b>M-PRC</b>	Matriz do processo de retro comissionamento
<b>MD</b>	Memória Descritiva
<b>PLC</b>	Plano de Comissionamento
<b>PC</b>	Processo de comissionamento
<b>PRC</b>	Processo de retro comissionamento
<b>PMEES</b>	Programa de Modernização das escolas destinadas ao Ensino Secundário
<b>QAI</b>	Qualidade do ar interior
<b>RDO</b>	Requisitos do Dono de Obra
<b>SWOT</b>	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>
<b>WBDG</b>	<i>Whole Building Design Guide</i>



## Capítulo 1 – Introdução

### 1.1. Motivação e enquadramento

Nas últimas décadas, os países industrializados adotaram políticas de desenvolvimento económico com o objetivo de aumentar o bem-estar das populações, originando um grande consumo de energia e consequentemente um grande impacto ambiental e uma maior escassez de recursos energéticos [1].

Em 2013 o consumo mundial de energia ultrapassou o valor de 12,5 mil milhões de toneladas equivalentes de petróleo sendo que aproximadamente 85% correspondeu a combustíveis fósseis, nomeadamente carvão, gás natural e petróleo [2].

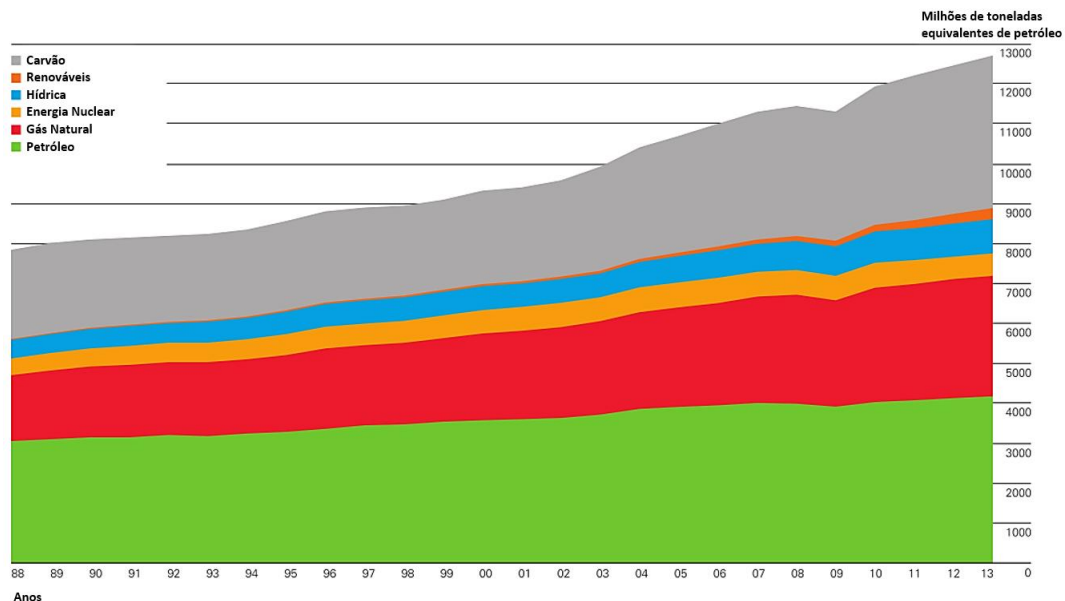


Figura 1 - Evolução e distribuição do consumo mundial de energia. [2]

Tendo em consideração o consumo de petróleo equivalente ao longo dos anos apresentado na Figura 1 conclui-se que existe uma grande dependência dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial, o que acarreta, naturalmente, efeitos nocivos para o ambiente potenciando alterações climáticas que se refletem na degradação do planeta Terra [1].

Analisando a situação particular de Portugal, sendo um país com poucos recursos fósseis endógenos, é inevitável a grande dependência dos combustíveis fósseis provenientes do exterior. Esta situação obriga Portugal a repensar a sua matriz energética por forma a diminuir a dependência em relação aos mercados internacionais. Uma das alternativas é apostar numa

maior utilização dos recursos renováveis endógenos, outra possível solução passa por utilizar a energia de forma mais racional e eficiente [1].

O Estado Português definiu uma Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) no sentido de poder cumprir com o protocolo de Quioto e alcançar os objetivos propostos. A ENE 2020 procura não só promover a utilização de energias de fontes renováveis e diminuir as emissões de GEE bem como aumentar a eficiência energética [1].

Quando o tema a abordar é a eficiência energética, é plausível afirmar que há um enorme potencial de poupança no setor da construção e dos edifícios. Sobre este ponto de vista e tendo em perspectiva um mundo energeticamente mais eficiente, governos, empresas e particulares devem aplicar um conjunto de ações que permitam transformar o setor da construção. Atualmente, os edifícios são responsáveis por cerca de 40% dos consumos totais de energia primária a nível mundial, o que faz com que o setor da construção seja responsável por emitir carbono em números superiores comparativamente, por exemplo, ao setor dos transportes. A Figura 2 ilustra claramente a contribuição dos diferentes setores do consumo energético mundial bem como o potencial de poupança relacionado com o setor dos edifícios [3].

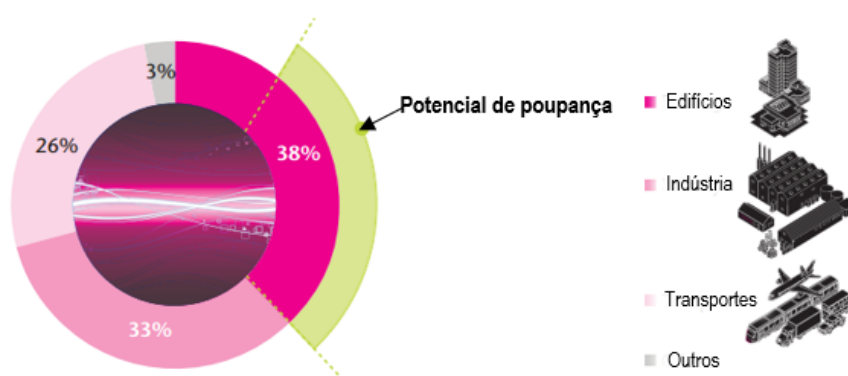


Figura 2 - Distribuição do consumo energético mundial por setores e respetivo potencial de poupança. [3]

Pelos motivos supramencionados, é de elevada relevância no contexto atual o desenvolvimento e implementação de estratégias de eficiência energética nos edifícios.

O setor dos edifícios pode ser subdividido em dois setores: o setor residencial ou doméstico e o setor de serviços ou terciário onde se inserem os edifícios públicos e comerciais como escolas, restaurantes, hotéis, hospitais, museus, entre outros. No que diz respeito aos edifícios de serviços em particular, são inúmeras as atividades e sistemas responsáveis pelo consumo de energia, nomeadamente os sistemas AVAC, o aquecimento de águas sanitárias, a iluminação, a refrigeração, a preparação de refeições e outros [4].

Analisando o caso específico das escolas, incluídas no setor dos edifícios de serviços, sabe-se que cerca de 70% da energia é utilizada para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação. Observando a Figura 3 é possível concluir que a eletricidade é utilizada, maioritariamente, para a iluminação e arrefecimento, por sua vez o gás natural é usado para aquecimento das instalações. Os dados da Figura 3 devem ser entendidos como indicadores,

não sendo representativos de todas as escolas, pois cada escola tem o seu próprio perfil de utilização de energia em função, por exemplo, do clima em que se insere ou da dimensão das instalações que possui [5].

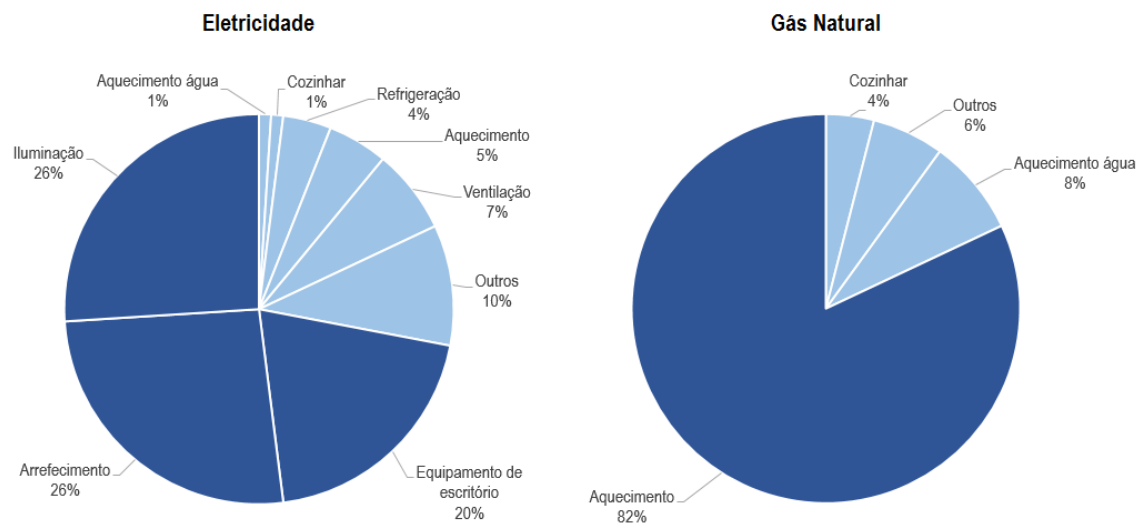


Figura 3 - Perfis de utilização da eletricidade e do gás natural para escolas. [5]

Uma vez na posse de toda a informação atrás mencionada, e tendo em conta que toda a estratégia de melhoria de eficiência energética deve incidir, fundamentalmente, sobre os sistemas que são responsáveis pelo maior consumo energético, é de conclusão imediata que os sistemas AVAC e a iluminação são os principais alvos sujeitos a intervenção.

Atualmente os edifícios são dotados de sistemas cada vez mais complexos. Esta complexidade traduz-se num maior cuidado por parte dos diferentes intervenientes em todo o processo de conceção de um edifício. A gestão desta complexidade requer, necessariamente, novas abordagens, novas competências e novas ferramentas. O comissionamento constitui uma nova abordagem, indispensável para coordenar todo o processo de planeamento, conceção e utilização de um edifício. A correta aplicação deste processo assegura, através da verificação da documentação, que o desempenho e eficiência exigidos pelo dono de obra são atingidos e mantidos ao longo de todo o ciclo de vida do edifício [6].

Um estudo realizado nos EUA pela *Portland Energy Conservation, Inc.* (PECI) a 60 edifícios de serviços revelou que metade deles possuíam problemas ao nível do controlo, 40% apresentavam problemas relacionados com os equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado, num terço deles os sensores não funcionavam corretamente. Ainda no mesmo estudo concluiu-se que 15% da amostra não tinha instalados os equipamentos necessários que estavam previstos, um quarto dos mesmos edifícios usufruíam de controlo de energia e variadores de frequência que não funcionavam de forma adequada e em muitos deles também se verificaram anomalias na envolvente, nos sistemas estruturais e ainda nos sistemas elétricos [7].

Um edifício com um fraco desempenho não vai apresentar os resultados que o dono de obra ou os projetistas desejariam, ao invés, vai acarretar investimentos adicionais para resolver questões que não estavam previstas aquando do planeamento e arranque da construção. O

comissionamento surge como um processo que permite que os edifícios deem início ao seu ciclo de vida com uma produtividade ótima e aumenta ainda a probabilidade do edifício manter este nível de desempenho durante a sua exploração [7].

## 1.2. O que é o comissionamento?

O comissionamento é um processo sistemático que garante que todos os sistemas do edifício têm um desempenho de acordo com os requisitos do dono de obra, com a memória descritiva e com as necessidades operacionais. Isto é alcançado através do desenvolvimento de documentação que tem início na fase de pré-projeto, prossegue com a execução do projeto, continua através da construção e prolonga-se no período de garantia com a elaboração de avaliações, testes e documentação de desempenho. O objetivo do comissionamento é então fornecer confirmação devidamente documentada de que o edifício, sistemas ou equipamentos cumprem os requisitos, funcionais e de desempenho, do proprietário, dos ocupantes e dos operadores [8].

Juntamente com a palavra comissionamento surgem outros termos que dizem respeito a diferentes tipos de comissionamento que devem ser adotados em conformidade com dada situação concreta. Posto isto, podemos aplicar o comissionamento, o retro comissionamento, o recomissionamento e o comissionamento contínuo. Embora todos estes processos apresentem fases e atividades distintas, partilham dos mesmos objetivos, contudo, a sua aplicação está dependente da situação do edifício alvo. Recorrendo à Tabela 1, rapidamente se compreende em que tipo de situações devemos, na qualidade de dono do edifício ou responsável pelas instalações, optar pela aplicação de um determinado tipo de comissionamento.

*Tabela 1 - Que tipo de comissionamento devo aplicar ao meu edifício? [9]*

<b>O edifício...</b>	<b>Implementação de:</b>
...vai ser submetido a uma grande intervenção no próximo ano.	<b>Comissionamento</b> , visto que é ideal para novas construções ou grandes intervenções
...é antigo e tem um histórico de várias falhas ao nível dos equipamentos.	<b>Retro comissionamento</b> , aplicável a instalações antigas que nunca foram alvo de um processo de comissionamento
...é relativamente recente e foi comissionado durante a fase de construção, contudo os custos relacionados com a energia têm aumentado significativamente.	<b>Recomissionamento</b> , atuando sobre edifícios já comissionados mas que precisam de ser trazidos de volta às intenções originais do projeto com o propósito final de instaurar elevados índices de eficiência energética
...é grande e complexo mas apesar de possuir um sistema de controlo e um programa de manutenção preventiva ainda se depara com elevados custos energéticos e queixas dos utilizadores.	<b>Comissionamento contínuo</b> , ideal para instalações dotadas de sistemas com controlo centralizado e com planos de operação e manutenção avançados.

De acordo com o *The Whole Building Design Guide* (WBDG) há três princípios básicos vinculados ao processo de comissionamento, designadamente [10]:

1. Determinar os requisitos de desempenho do projeto, ou requisitos do dono de obra (RDO);
2. Planear o processo de comissionamento (PC);
3. Documentar o processo alvo de aceitação pelos intervenientes no processo.

Com o intuito de determinar os RDO é fundamental entender as necessidades do tipo de edifício em análise, definir possíveis fontes de problemas, riscos e respetivas consequências, elaborar uma lista de objetivos chave a serem cumpridos e identificar os sistemas instalados e os componentes críticos sobre o ponto de vista de poupança energética [11].

Para planear o PC é preciso estabelecerem-se os objetivos de qualidade, eficiência e funcionalidade para o edifício, o modo de abordagem do projeto, o orçamento, o plano e programação do comissionamento, estabelecer planos de teste e inspeção, desenvolver especificações do comissionamento e providenciar condições para um possível recomissionamento no futuro [11].

Quanto ao princípio de documentação do processo deve ser tido em linha de conta a tarefa de documentar todos os níveis do desenvolvimento do projeto e sua aceitação, atribuindo grande destaque à inspeção e aos testes dos sistemas comissionados, fornecendo formação adequada em função dos sistemas instalados e dos técnicos contratados. No final, toda a documentação deve ser compilada num relatório final de comissionamento [11].

### **1.3. Caso de estudo**

A Parque Escolar, E.P.E., fundada em 2007 e sediada na Avenida Infante Santo, Lisboa, é uma empresa pública, dotada de autonomia administrativa e financeira e de património próprio, que está sujeita à tutela dos membros do Governo responsáveis pelas áreas das finanças e da educação. A Parque Escolar tem como objetivo requalificar várias escolas secundárias e outras afetas ao Ministério da Educação melhorando a qualidade das mesmas, e para tal a missão passa pelo planeamento, gestão, desenvolvimento e execução do programa de modernização do parque escolar (PMEES) [12].

A intervenção das escolas tem como principais objetivos [13]:

- Recuperar e modernizar os edifícios, potenciando uma cultura de aprendizagem, de divulgação do conhecimento e aquisição de competências;
- Abrir a escola à comunidade, recentrando a escola nos meios urbanos em que se inserem;
- Criar um novo e eficaz modelo de gestão dos edifícios, garantindo uma resposta eficaz às intervenções de conservação e manutenção e fomentando a correta e plena utilização dos espaços e equipamentos através da formação, acompanhamento e responsabilização dos utilizadores.

A recuperação e modernização consiste em corrigir problemas construtivos existentes, melhorar as condições de conforto ambiental, com ênfase na higrotérmica, acústica, qualidade do ar, segurança e acessibilidade, adequar os espaços e modernizar os equipamentos, garantir flexibilidade e adaptabilidade dos espaços maximizando a utilização e minimizando o investimento futuro e garantir ainda a eficiência energética por forma a reduzir os custos de operação [13].

Por serem infraestruturas com grandes áreas de implantação e por albergarem um elevado número de pessoas, as escolas tendem a apresentar necessidades energéticas elevadas. Estas necessidades aumentaram após a intervenção da Parque Escolar, por forma a ser possível cumprir com os requisitos legais de conforto térmico e qualidade do ar interior. A par com o aumento das necessidades energéticas está o aumento dos custos operacionais e de funcionamento, e face às restrições económico-financeiras que o país atravessa torna-se extremamente importante implementar medidas ou alterações aos processos de intervenção que possam contribuir para a redução destes custos [1].

A implementação do processo de comissionamento aplicado aos edifícios advém da necessidade que existe em reduzir custos de operação e de manutenção que se revelam excessivamente elevados em relação ao que era esperado, com o propósito de manter os sistemas em condições ideais ao longo da vida útil do edifício do ponto de vista ambiental, energético e uso das instalações. Este processo, que é orientado para a qualidade e que visa verificar e documentar o desempenho das instalações, sistemas e equipamentos à luz de objetivos e requisitos previamente definidos, confere uma melhoria significativa aquando da entrega das instalações. O comissionamento assenta em premissas como a conservação de energia, qualidade do ar interior, sustentabilidade e manutenção preventiva que se refletem numa redução dos custos de operação e manutenção pois só com uma correta receção de equipamentos e posterior instalação dos mesmos em conformidade com os requisitos é que se conseguirá que o edifício tenha o desempenho esperado. Para que o edifício opere eficazmente também é necessário técnicos com capacidades e recursos para desempenharem as suas tarefas, e o comissionamento também fornece essas ferramentas [6].

Apesar de todos os benefícios e vantagens que o comissionamento traz e poderá oferecer no futuro, atualmente, não é um processo que se considere completamente estabelecido, particularmente em Portugal, e as causas devem-se, não só à falta de compreensão sobre o conceito e a tudo o que o rodeia, como também à falta de tempo e aos custos de implementação associados, apesar destes serem bastantes reduzidos quando comparados com o retorno obtido pelo processo. Deve-se portanto mobilizar esforços numa perspetiva de divulgar o conceito de comissionamento, demonstrando todos os benefícios a ele adjacentes bem como a redução de custos que se atingirá com a correta implementação do processo [14].

Foram alvo de análise cinco casos particulares de projetos que foram desenvolvidos em anos diferentes, num período com início em 2007 e que se estende até à atualidade, nomeadamente com atividades relacionadas com a manutenção.

Os objetos de estudo são identificados pela numeração romana I, II, III, IV e V. No que ao período de construção diz respeito, o caso I teve início em 2007 e findou em 2009, para os casos II e III,

estes inserem-se no período entre 2008 e 2010. Entre 2009 e 2011 foram alvo de intervenção os casos IV e V.

De referir ainda que os alvos de análise são edifícios escolares, destinados ao ensino secundário, situados na região Norte de Portugal.

## **1.4. Objetivos e estrutura da dissertação**

Para fazer face ao objetivo principal da dissertação – avaliar o impacto das metodologias de comissionamento no desempenho energético de edifícios escolares – torna-se fundamental cumprir as seguintes etapas:

- Compreender a evolução e impacto do comissionamento;
- Analisar os custos e poupanças do comissionamento;
- Estudar as metodologias de aplicação dos processos de comissionamento;
- Perceber o grau de organização e documentação dos casos de estudo;
- Elaborar matrizes de análise sobre duas perspetivas distintas, a de estimar o potencial de poupança com a aplicação do PC e a de avaliar se o caso de estudo é ou não bom candidato a retro comissionamento.

A presente dissertação desenvolve-se por 6 capítulos. No primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema da investigação, procurando explicar, numa primeira fase, o panorama atual do consumo energético mundial nos diversos setores, com especial destaque para a indústria da construção e depois particularizando para os edifícios escolares. Posteriormente procurou-se realçar a necessidade de implementação do processo de comissionamento. Seguidamente enuncia-se o conceito de comissionamento e os princípios básicos que lhes estão associados. Também se explica o enquadramento dos casos de estudo na filosofia adotada pela Parque Escolar e no presente documento.

No segundo capítulo é alvo de análise a evolução do conceito de comissionamento desde o seu primeiro manifesto até à atualidade. Pretende-se inserir o conceito na visão do setor da indústria, esclarecer o impacto que causa no mesmo setor e dar a conhecer os principais projetos que se desenvolveram e outros que se encontram em crescimento pelo mundo. Neste capítulo introduz-se ainda uma análise de custo-benefício que permite deslindar as vantagens e desvantagens do processo, os custos e as poupanças inerentes à correta implementação do mesmo.

No terceiro capítulo o destaque incide na explicação detalhada do conceito de comissionamento. Aborda-se o processo de comissionamento e o processo de retro

comissionamento, as diferentes fases dos mesmos, os intervenientes e a documentação mais importante.

No quarto capítulo é introduzido o caso prático. Aqui procede-se à apresentação dos objetivos do PMEES e de algumas orientações do Manual de Projeto definidas pela Parque Escolar. Segue-se a exposição dos casos de estudo, onde se adotam duas abordagens que permitirão respostas às questões “E se o comissionamento fosse aplicado?” e “O edifício é um bom candidato ao retro comissionamento?”. Os resultados obtidos são alvos de discussão. Efetua-se ainda a uma análise SWOT que apesar de ser generalizada, enquadra-se na perfeição na realidade da construção dos edifícios escolares portugueses e na forma como o comissionamento é encarado pela sociedade, nomeadamente pelos donos de obra ou proprietários dos edifícios.

No quinto e sexto capítulos apresentam-se as conclusões finais e indicam-se trabalhos futuros no âmbito desta dissertação, respetivamente.



## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

### 2.1. Evolução do conceito de comissionamento

#### 2.1.1. Visão geral da indústria sobre o comissionamento

Durante séculos, a construção naval tem comissionado os navios com o objetivo de garantir que eles estão prontos para o serviço através de um processo que consiste na realização de testes de equipamentos para corrigir anomalias e na formação da tripulação para perpetuar o bom desempenho dos sistemas a bordo. Aplicava-se ainda ações de recomissionamento para manter os benefícios do comissionamento inicial [15].

As primeiras formas de comissionamento em edifícios datam da década de 1950 na Europa, contudo, o conceito estava apenas a dar os primeiros passos e estava bem distante de ser comum no seio da indústria tradicional de construção. Apesar de surgir só depois nos EUA, foi aí que conheceu os maiores desenvolvimentos até aos dias de hoje. Na década de 1970, muitos eram os edifícios que não satisfaziam as necessidades e exigências do proprietário. Os problemas relacionados com o conforto eram recorrentes bem como o elevado consumo de energia. Juntamente com estes aspetos negativos, a crise energética dessa década ajudou a despoletar esforços para tornar os edifícios energeticamente mais eficientes e, em muitos casos, melhorando as condições de conforto [15], [16].

Em 1977, assistiu-se à introdução do comissionamento no processo de entrega dos edifícios em obras públicas do Canadá. Em 1984, formou-se o comité da *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) de orientação do comissionamento AVAC. Em 1988, a ASHRAE publicou *HVAC Commissioning Guideline* e nesse mesmo ano, a Universidade de Michigan estabeleceu uma equipa de avaliação de instalações com base no comissionamento. Só por volta de 1990 é que alguns proprietários abraçaram verdadeiramente a ideia de formalizar o PC. Várias indústrias reconheceram que a aplicação do comissionamento trazia melhorias no processo de construção e permitia ao proprietário a receção de um edifício mais eficiente. Nessa altura existiam duas abordagens diferentes, uma delas via o comissionamento como um reforço nas fases de testes de desempenho e a outra abordagem tratava o comissionamento como um processo independente [16], [17].

Na primeira metade da década de 1990 algumas agências governamentais como a *General Services Administration* (GSA), *U.S. Corp of Engineers*, *Environmental Protection Agency* (EPA) e *Department of Energy* (DOE) adotaram diretrizes sobre o comissionamento. A agência *Portland Energy Conservation, Inc.* (PECI) promoveu o comissionamento como método para melhorar o desempenho do edifício, e em 1992 patrocinou a primeira conferência nacional sobre a aplicação do conceito em edifícios. Em 1996, a ASHRAE publicou *Guideline 1-1996: The HVAC*

*Guideline Commissioning Process*. Dois anos mais tarde, os critérios LEED passaram a incluir o comissionamento e em 2004 esse mesmo critério passou a incluir pré-requisitos para retro comissionamento. Em 2005 a ASHRAE lança nova publicação, *Guideline 0-2005: The Commissioning Process* e em 2006 definiu uma agenda para liderar o avanço dos projetos sustentáveis na construção, anunciando também planos para um programa de certificação no âmbito do comissionamento. A partir daqui o comissionamento tem vindo a evoluir e se já se considerou como sendo apenas uma ferramenta de reforço nos testes de desempenho realizados, atualmente é visto como um processo independente, sistemático – com início na fase de pré-projeto, com uma duração de pelo menos um ano após o final do projeto e que inclui procedimentos de formação dos técnicos de operação e manutenção – que garante, através da verificação de documentação, que todos os sistemas estão de acordo com as intenções do projeto e necessidades operacionais do proprietário [16], [17].

### **2.1.2. Impacto do comissionamento na indústria da construção**

Historicamente, o termo “comissionamento” referia-se ao processo pelo qual o sistema AVAC, em particular, era testado e equilibrado de acordo com os requisitos previamente definidos pelo dono do edifício. Atualmente, devido às crescentes exigências de conforto, eficiência e qualidade, o processo de comissionamento passa pela integração de todos os sistemas no desempenho do edifício tendo impacto sobre questões relacionadas com a funcionalidade, sustentabilidade, produtividade, segurança e bem-estar dos utilizadores [18].

O crescimento do comissionamento tem vindo a causar alterações na indústria da construção. Os proprietários dos edifícios apercebem-se cada vez mais dos benefícios e desde logo concordaram com a introdução de um novo membro nos processos tradicionais. É daqui que surge a autoridade de comissionamento (AC) que representa os interesses do dono de obra e que se envolve em todo o processo de construção, desde o pré-projeto até à fase final de entrega do edifício. Esta entidade tem o direito e dever de liderar, planificar, calendarizar e coordenar a equipa de comissionamento na implementação do processo [17], [19].

Todos os intervenientes num projeto tradicional incluindo arquitetos, engenheiros, equipas de construção e técnicos de operação e manutenção, são afetados pela introdução do processo de comissionamento [17].

Apesar das previsões que apontavam em sentido contrário, tem-se assistido a uma grande disposição por parte dos proprietários dos edifícios para investir na implementação do PC e tem-se verificado os seguintes cenários [17]:

- O comissionamento passou a ser requisitado pelo próprio dono de obra em vez de fazer parte do contrato de construção;
- Os proprietários dos edifícios procuram por uma AC que seja independente e que não transporte conflitos de interesses para o projeto;
- Envolvimento cada vez mais cedo da AC no processo, proporcionando maiores benefícios;
- Muitos donos de obra reconhecem que as vantagens do comissionamento se aplicam não só a edifícios novos, como também a edifícios existentes;

- A crescente procura do comissionamento tem conduzido, por parte de várias organizações, ao desenvolvimento de normas, diretrizes, cursos de formação e programas de certificação.

Atualmente o comissionamento serve a indústria da construção na medida em que [16], [17]:

- Garante que o edifício tenha um desempenho de acordo com as expectativas do proprietário;
- Reduz o número de pedidos de alterações em construção;
- Reduz o risco de reclamações para os projetistas e empreiteiros;
- É uma influência positiva na calendarização dos projetos.

### 2.1.3. Projetos a nível internacional

O processo de comissionamento em edifícios encontra-se em estudo, desenvolvimento e implementação em vários países.

A nível internacional, pode concluir-se que alguns países estabeleceram mecanismos de controlo de qualidade. Contudo, as abordagens correntes não garantem que os edifícios operem da forma mais otimizada, e é aqui que o comissionamento assume a sua relevância. Na Tabela 2 é possível analisar o estado do comissionamento em diversos países. Para consulta mais detalhada sobre os projetos dos diferentes países na área do comissionamento, recomenda-se ao leitor a consulta do Anexo A. Por observação da Tabela 2 conclui-se que o processo de comissionamento se encontra, maioritariamente, em estudo e em desenvolvimento, o que revela que é uma temática que tem vindo cada vez mais a ser abordada e potencialmente encarada como uma ferramenta valiosa no setor da construção.

*Tabela 2 - Estado de desenvolvimento do PC a nível internacional [6], [14], [18]*

País	Estado do comissionamento
Canadá	Em desenvolvimento
República Checa	Em implementação
Finlândia	Em desenvolvimento
China	Em estudo
Japão	Em implementação
Holanda	Em implementação na fase de aceitação do edifício ou sistema
Noruega	Em estudo
EUA	Em desenvolvimento
Portugal	Em estudo
Suécia	Em implementação
França	Em desenvolvimento
Reino Unido	Em desenvolvimento

## **2.2. Análise custo-benefício do comissionamento de edifícios**

Os problemas relativos ao desempenho dos edifícios são universais. Deficiências como falhas de projeto, defeitos na construção, mau funcionamento de equipamentos e falta de manutenção acarretam consequências graves: desde avarias dos equipamentos, qualidade do ar interior (QAI) e condições de conforto comprometidos, excessivo consumo de energia ou até fraco desempenho ao nível das estratégias para obtenção de eficiência energética. Felizmente, um processo emergente de garantia de qualidade pode detetar e corrigir a maioria das deficiências supramencionadas, esse processo é o comissionamento. [20]

Da aplicação correta do PC resultam um conjunto de vantagens facilmente identificáveis à primeira vista como a diminuição de pedidos de alteração durante a fase de construção, diminuição do valor da fatura energética, maior poupança de custos na substituição de equipamentos e uma consequente margem de lucro superior para o dono de obra ou proprietário do edifício [7].

Da análise custo-benefício é possível afirmar que há diferenças substanciais entre os edifícios novos e os edifícios existentes. Em termos de unidade de área é possível afirmar, com base num estudo realizado nos EUA, [20], que para os edifícios existentes verifica-se uma economia de energia seis vezes superior e custos de implementação quatro vezes mais baixos. Com efeito, o comissionamento em novos edifícios é impulsionado fundamentalmente por metas não energéticas, como o conforto térmico, a QAI ou o desempenho geral do edifício, ao passo que para os edifícios existentes, as maiores motivações para aplicação do processo têm origem no desejo de reduzir os consumos energéticos [20].

### **2.2.1. O que motiva a aplicação do comissionamento**

Com base num estudo efetuado nos EUA, [20], é possível concluir sobre as principais razões que motivam a aplicação do PC.

A Figura 4 apresenta as principais razões para implementação do comissionamento no caso de edifícios novos e existentes bem como a percentagem de projetos incluídos em cada uma das razões. De referir que para esta análise foram alvo de escrutínio 30 projetos de edifícios novos e 85 projetos de edifícios existentes. Da observação da Figura 4 é possível concluir que no caso de edifícios existentes, o comissionamento é procurado, fundamentalmente, com o objetivo de garantir ganhos energéticos (94% dos projetos avaliados). Quanto aos edifícios novos, as principais razões que invocam a implementação do PC têm que ver com assegurar o desempenho dos sistemas (87%), a qualidade do ar interior (83%) e o conforto térmico das instalações (83%) [20].

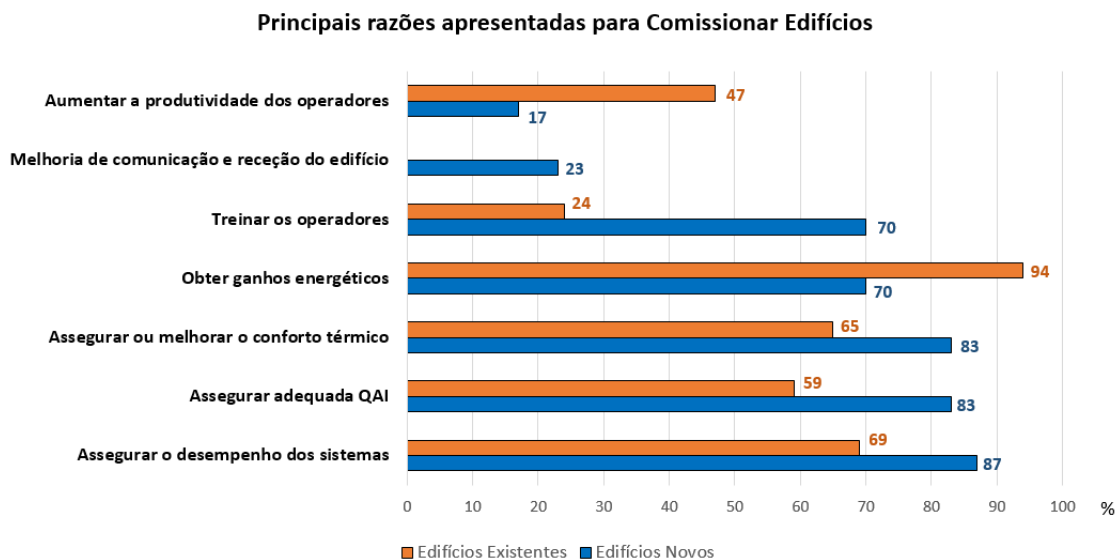


Figura 4 - Principais razões invocadas para aplicação do comissionamento em edifícios novos e existentes. [20]

## 2.2.2. Deficiências e medidas de melhoramento

Nesta subsecção pretende-se dar a conhecer as principais anomalias que são detetadas com a implementação do PC em edifícios novos e existentes bem como as principais medidas corretivas que foram aplicadas em ambos os casos. Foram 85 os casos de estudo que permitiram apurar 3500 deficiências nos edifícios existentes, com 11 deficiências por edifício (mediana amostral) e uma média<sup>1</sup> de 35 deficiências por edifício. Após análise dos resultados apresentados na Figura 5 pode concluir-se que aproximadamente 85% dos problemas identificados estão relacionados com os sistemas AVAC. De assinalar que uma percentagem significativa de anomalias não foram caracterizadas [20].

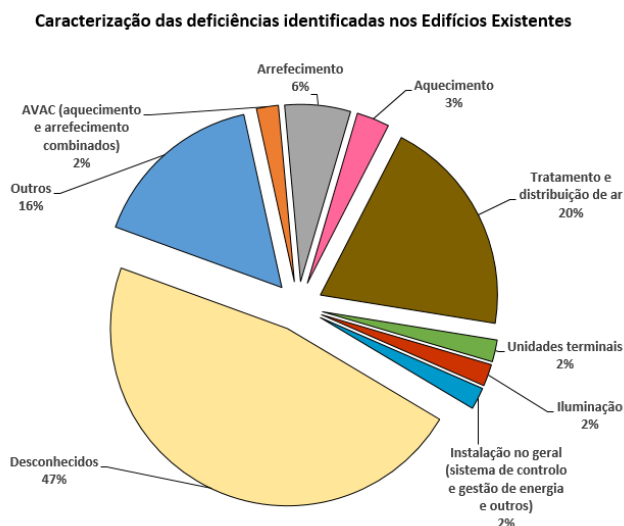


Figura 5 - Caracterização das deficiências encontradas nos edifícios existentes. [20]

<sup>1</sup> Daqui em diante o termo “média” representa a média aritmética amostral

As medidas de correção e melhoria aplicadas aos edifícios existentes (no âmbito de 69 projetos avaliados) estão divididas em três categorias: projeto e instalação, operação e controlo e ainda manutenção. Do estudo conclui-se que na categoria de projeto e instalação é a substituição ou investimento em equipamento a medida que mais se aplica (em 216 dos casos substituíram-se sensores defeituosos), na operação e controlo em 131 dos casos efetuou-se reprogramação e redefinição de *set-points* e na manutenção o que mais se verifica são correções mecânicas (em 147 dos casos) e calibração de equipamentos e sistemas (em 114 dos casos). A categoria operação e controlo é aquela em que se regista um maior número de medidas implementadas [20].

No setor dos novos edifícios o mesmo estudo analisou 35 projetos, nos quais se identificaram 3305 deficiências, com 28 deficiências por edifício (mediana amostral) e uma média de 67 deficiências por edifício. Tal como para o caso dos edifícios existentes, os sistemas AVAC, na sua generalidade, estão na origem de cerca de dois terços dos problemas reportados. Constata-se igualmente que também nestes casos há uma percentagem muito significativa de anomalias não caracterizadas. A Figura 6 ilustra a situação dos novos edifícios em relação à caracterização das deficiências registadas [20].

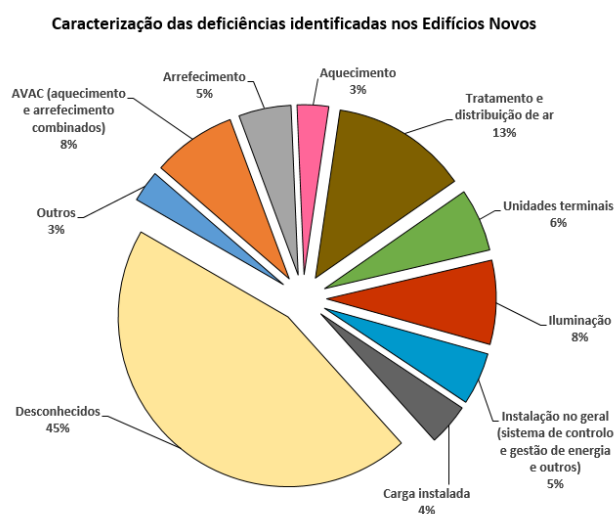
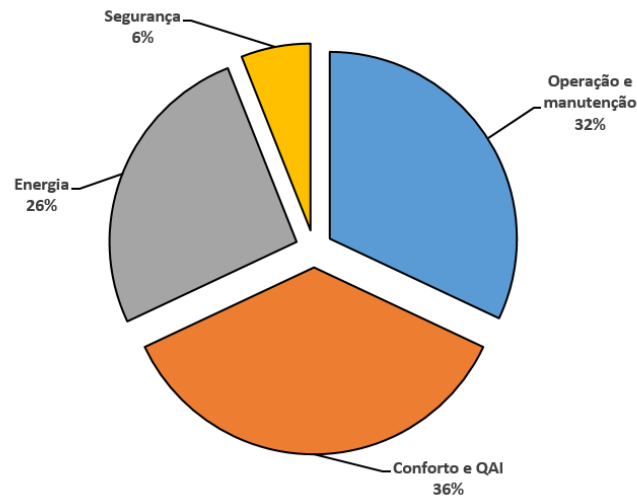


Figura 6 - Caracterização das deficiências encontradas nos edifícios novos. [20]

As medidas de correção e melhoria aplicadas aos edifícios novos (no âmbito de 20 projetos avaliados) estão, tal como no caso dos edifícios existentes, divididas em três categorias: projeto e instalação, operação e controlo e ainda manutenção. Conclui-se que na categoria de projeto e instalação é a alteração na instalação a medida que mais se aplica (em 143 dos casos) e o facto das alterações do projeto se verificar em apenas 36 casos, isso pode ser explicado pela altura avançada em que se requisita os serviços do comissionamento, na operação e controlo em 139 dos casos efetuou-se um ajuste do funcionamento dos sistemas e na manutenção o que mais se verifica são correções mecânicas (em 174 dos casos) [20].

Outro estudo apresentado em 2008, [21], faz referência a mais de 700 problemas que foram detetados através da implementação do comissionamento. Essas anomalias foram agrupadas nas seguintes categorias que estão apresentadas na Figura 7 com o respetivo peso percentual [21].

**Problemas detetados e agrupados nas diferentes categorias**



*Figura 7 - Categorias de problemas detetados. [21]*

A Tabela 3 apresenta os principais exemplos de anomalias identificadas em cada uma das categorias anteriores.

*Tabela 3 - Exemplos de anomalias para cada uma das categorias [21]*

Categoria	Exemplos de anomalias
<b>Operação e manutenção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folga excessiva ou regulamento deficiente dos registos;</li> <li>• Equipamentos com elevados índices de vibração e de ruído;</li> <li>• Instalação inadequada e insegura, não respeitando as normas;</li> <li>• Equipamento mal rececionado;</li> <li>• Falta de tampas e fixadores;</li> <li>• Formação incompleta dos técnicos;</li> <li>• Manual dos sistemas incompleto ou inexistente;</li> <li>• Mapa dos pontos de controlo e monitorização incompleto ou incorreto.</li> </ul>
<b>Conforto e QAI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Set-points</i> inadequados;</li> <li>• Equipamento demasiado barulhento;</li> <li>• Filtros poluídos e impróprios para funcionamento;</li> <li>• Mau funcionamento dos ventiladores;</li> <li>• Extração de fumos imprópria;</li> <li>• Caudais de ar desajustados.</li> </ul>

*continua*

Tabela 3 – Exemplos de anomalias para cada uma das categorias [21]

conclusão

Categoria	Exemplos de anomalias
<b>Energia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folga excessiva ou regulamento deficiente dos registos;</li> <li>• Bloqueio interno do equipamento não funciona;</li> <li>• Potência de ventilação inadequada;</li> <li>• Atuadores e registos que não funcionam;</li> <li>• Mau funcionamento dos controladores dos equipamentos;</li> <li>• Sequência de operação e controlo mal programada;</li> <li>• Ventiladores sobredimensionados;</li> <li>• Alterações efetuadas sem aprovação prévia.</li> </ul>
<b>Segurança</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fugas de água para equipamentos elétricos;</li> <li>• Montagem inadequada e insegura de equipamentos;</li> <li>• Comutação inadequada dos ventiladores;</li> <li>• Proximidade entre grelhas de exaustão de fumos e de admissão de ar novo;</li> <li>• Entulho da construção deixado à volta dos equipamentos;</li> <li>• Fios elétricos indevidamente expostos.</li> </ul>

### 2.2.3. Vantagens do comissionamento

Com a implementação do PC, para além dos importantes benefícios energéticos, outros fatores positivos merecem destaque. Uma das importantes vantagens do PC tem que ver com a garantia de conforto térmico interior e de níveis aceitáveis de QAI. Muitos problemas surgem de um mau projeto e/ou de uma má instalação dos sistemas AVAC. A qualidade do ambiente interior de um edifício afeta o conforto, a produtividade e a saúde dos ocupantes podendo mesmo causar dores de cabeça, fadiga ou até reações alérgicas. Fatores como a temperatura, humidade e iluminação poderão estar na origem de ambientes desconfortáveis que se traduzem eventualmente em fraca produtividade e baixa eficiência no desempenho de determinadas tarefas. O comissionamento contribui para a dissipação destas questões negativas através de uma inspeção rigorosa aquando da construção, instalação, testes de desempenho funcional e administração de formação adequada [11].

Outro benefício proveniente da aplicação do PC tem implicação direta na extensão do ciclo de vida dos equipamentos e sistemas e no modo como estes operam. Atualmente, os sistemas dos edifícios são integrados, ou seja, uma deficiência ou anomalia no funcionamento de um ou mais componentes de um deles pode significar não só um desempenho abaixo do esperado daquele subsistema, como também um mau desempenho por parte de outros subsistemas. Eliminar ou reduzir estes problemas é sinónimo de garantir um conjunto de benefícios inerentes. Através do comissionamento, os subsistemas do edifício e os seus equipamentos funcionam de modo otimizado, conduzindo a uma operação mais fiável, a uma maior longevidade e a um menor número de reparações exigidas [18].



Um outro fator bastante positivo consiste na melhoria significativa da comunicação e coordenação entre proprietário do edifício, projetistas, construtores e operadores. O diálogo permanente entre todos os membros da equipa de comissionamento (EC) é preponderante para alcançar com sucesso os requisitos do dono de obra (RDO). O PC promove diversas reuniões em que os participantes são encorajados a considerar todas as perspetivas sem nunca perder de vista as expectativas iniciais designadas para o edifício [11].

Seguem-se os principais benefícios resultantes do impacto do PC, incluindo os que foram supramencionados [7], [22]:

- Funcionamento adequado e eficiente dos equipamentos;
- Extensão significativa do ciclo de vida dos equipamentos ou sistemas;
- Melhoria na coordenação entre projetistas, construtores e utilizadores;
- Melhoria da qualidade do ar interior, do conforto e da produtividade do ocupante;
- Aumento da segurança dos ocupantes;
- Incremento da qualidade e organização da documentação do edifício;
- Redução dos custos operacionais e de manutenção;
- Redução do período de transição para a ocupação.

No que diz respeito a estes benefícios ditos não energéticos, um estudo efetuado, [20], permitiu apurar as diferentes percentagens atribuídas a cada um deles, que refletem a frequência com que ocorrem, tanto para edifícios existentes como para edifícios novos. Na Figura 8 é possível observar o impacto do comissionamento proveniente de 81 benefícios identificados pela AC num total de 36 projetos de edifícios existentes avaliados. É facilmente observável que a extensão de vida do equipamento é a vantagem que mais vezes se observou, em cerca de um terço dos casos. Segue-se a melhoria do conforto térmico que ocorreu em cerca de um quinto dos 36 projetos avaliados [20].

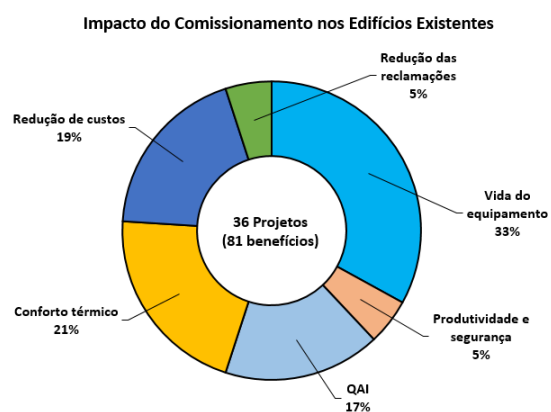


Figura 8 - Impacto do comissionamento nos edifícios já existentes. [20]

Relativamente aos novos edifícios, estão presentes, na Figura 9, a distribuição percentual de 95 benefícios que foram reportados pelo dono de obra ou pela AC de um total de 44 projetos analisados. É possível observar que a extensão de vida do equipamento e o conforto térmico são reportados como benefícios da aplicação do comissionamento em 19% dos casos. Segue-se a diminuição de reclamações (18%) e a melhoria da QAI em *ex aequo* com a redução de custos (16%) [20].

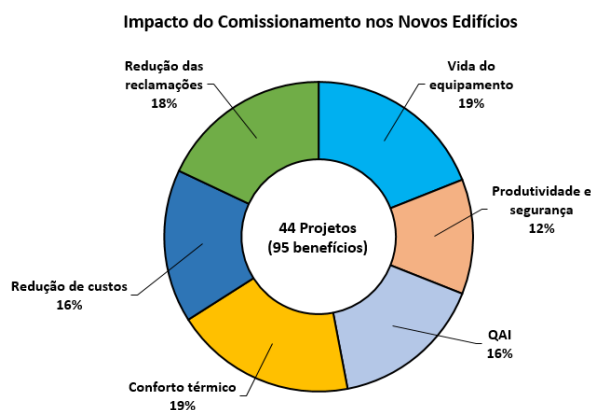


Figura 9 - Impacto do comissionamento nos novos edifícios. [20]

O comissionamento como um processo, mais do que como medida prescritiva, adapta-se para ir ao encontro das necessidades únicas de cada proprietário ou dono de obra e, consequentemente, de todos os que estão em contacto com o edifício, desde a fase de planeamento até à utilização. Posto isto, é natural que as vantagens que o PC acarreta também se reflitam naqueles que participam em todo o processo, com maior proeminência para os que assumem papéis de maior destaque como o dono de obra ou proprietário, os projetistas e os empreiteiros. Sobre o ponto de vista dos principais intervenientes no PC, estes beneficiam do mesmo nos seguintes aspetos:

**1. Potenciais benefícios para os projetistas [7], [23]:**

- a) Maior facilidade no cumprimento dos RDO;
- b) Menor exposição a riscos e a possíveis reclamações;
- c) Melhoria da base de conhecimentos para o uso em futuros projetos, eles próprios adquirem perspetivas que os tornam mais realistas, práticos e também realizáveis;
- d) Beneficia da participação de outros intervenientes o que conduz a um projeto e operação mais rentáveis;
- e) Menos tempo despendido a dar resposta a questões da equipa de construção pois os projetos desenvolvidos são alvo de cada vez menos erros, muito por responsabilidade da melhoria de comunicação entre projetistas e empreiteiros.

**2. Potenciais benefícios para os empreiteiros [23]:**

- a) Melhoria no planeamento e coordenação através da implementação do P<sub>LC</sub>;
- b) Melhoria na coordenação entre a EC, reduzindo substancialmente o número de deficiências aquando da conclusão da construção e o número de reclamações;
- c) Redução do número de pedidos de orientação para a operação das instalações devido à implementação de planos de formação aos técnicos de operação e manutenção.

**3. Potenciais benefícios para o dono de obra [7], [23]:**

- a) Melhoria do conhecimento operativo sobre otimização do funcionamento e da manutenção dos sistemas;
- b) Menores requisitos de formação após a conclusão da obra devido à documentação existente dos sistemas, sendo que a formação adicional só terá razão de causa na eventualidade de ocorrerem mudanças nos sistemas;
- c) Desempenho das instalações de acordo com os seus próprios requisitos;
- d) Maior facilidade de acesso à operação e manutenção dos sistemas por intermédio do MS;
- e) Redução do tempo de inatividade por causa de uma deteção de falhas mais eficaz;
- f) Maior capacidade de fornecer informações precisas aos ocupantes sobre o funcionamento e manutenção das instalações;
- g) Menores custos operacionais;
- h) Maior capacidade de manter o projeto dentro do prazo e orçamento iniciais, muito por responsabilidade da deteção de falhas em fases precoces do processo;
- i) Maior produtividade do ocupante e um menor número de reclamações produzidas pelo mesmo.

**2.2.4. Custos do comissionamento**

Os custos do comissionamento podem variar consideravelmente com a complexidade do projeto, com o tipo e dimensão de edifício, com o tipo de equipamentos instalados e até com a profundidade de aplicação do próprio PC. O dono de obra ou a entidade que requisita o processo tem a responsabilidade de compreender todos os custos que estão associados às diferentes fases e deve discutir com a AC o investimento a efetuar para que se possa acordar sobre o orçamento final do projeto. Adianta-se desde já que, tipicamente, o custo total do comissionamento, incluindo as fases de preparação e execução do projeto e de construção, ronda aproximadamente os 0,6% a 1,8% dos custos totais da construção [24].

Como tem sido apanágio ao longo da escrita da dissertação, nesta secção também se efetuará a análise das duas perspetivas: edifícios existentes e novos edifícios.

Antes de dar seguimento à discussão dos custos envolvidos no processo, convém referir que atualmente não existe um método padrão que esteja suficientemente implementado para determinar os custos (e também as poupanças) que estão associados ao comissionamento. A maior dificuldade tem que ver com o facto de que, na generalidade, os custos do comissionamento não estão dissociados dos outros custos inerentes ao projeto. Contudo, nos casos em que é possível obter os custos devidamente separados, vários métodos são utilizados para quantificar os gastos e os proveitos [7].

Os estudos mais recentes e relevantes nesta matéria, na medida em que apresentam uma maior heterogeneidade em relação a muitas variáveis, datam de 2004 e 2009 e será neles que a generalidade da informação exposta procura fundamento.

Um estudo apresentado em 2009, [15], realizado nos EUA (em 26 estados), avaliou 409 projetos, num total de 643 edifícios (561 edifícios existentes e 82 edifícios novos) e concluiu sobre os custos de aplicação do comissionamento. Para os edifícios existentes avaliados (317) o custo é de 2,37 €/m<sup>2</sup> e para os edifícios novos estudados (73) o custo é de 9,15 €/m<sup>2</sup> (valores que representam a mediana amostral)<sup>2</sup> [15].

A Figura 10 mostra os resultados obtidos por este estudo, dando particular destaque à mediana amostral e aos quartis inferior e superior ou primeiro e terceiro quartis respetivamente.<sup>3</sup>

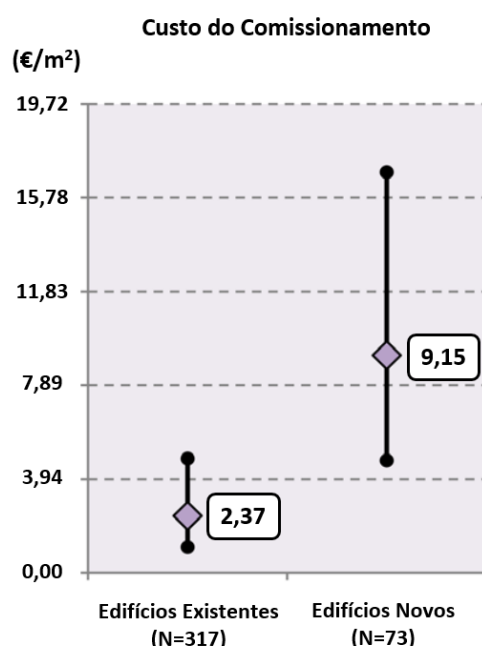


Figura 10 - Custo do comissionamento em edifícios existentes e novos (€/m<sup>2</sup>). [15]

Estudos realizados no passado permitem concluir sobre a distribuição dos custos do comissionamento durante a aplicação do processo. Para os edifícios existentes, um estudo, [20], avaliou 55 projetos e concluiu que 69% dos custos são provenientes das tarefas de investigação e planeamento, 27% da implementação das medidas e a restante parte divide-se pelas atividades de documentação e verificação e ainda pela implementação de estratégias de persistência. A Figura 11 ilustra esta repartição de custos [20].

<sup>2</sup> De referir que os valores apresentados nesta dissertação que têm origem em estudos realizados nos EUA e outras localidades onde as unidades padrão são o dólar (\$) e o pé quadrado (ft<sup>2</sup>) foram convertidos, respetivamente, para euro (€) e metro quadrado (m<sup>2</sup>). Importa precisar também que neste caso particular, o estudo referenciado foi apresentado em julho de 2009, como tal, utilizou-se a conversão dólar-euro de acordo com as taxas de câmbio para essa data (1\$=0,71€).

<sup>3</sup> Primeiro quartil representa o valor aos 25% da amostra ordenada (percentil 25). Terceiro quartil representa o valor aos 75% da amostra ordenada (percentil 75).

#### Distribuição dos custos do comissionamento - Edifícios Existentes

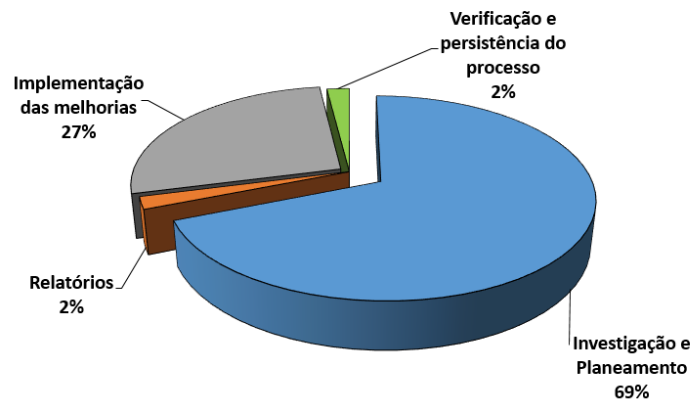


Figura 11 - Distribuição dos custos do processo de retro comissionamento - Edifícios Existentes. [20]

O mesmo estudo verifica que no caso particular dos novos edifícios (foram alvo de estudo 5 projetos) os custos do processo de comissionamento se aplicam, maioritariamente, nas tarefas dos testes de desempenho funcional, incluindo a preparação e posterior aceitação dos mesmos (64%). Segue-se a revisão dos projetos com uma representação de 18% dos custos totais, observação da construção (14%) e tarefas relacionadas com a garantia dos sistemas, equipamentos e materiais. A Figura 12 ilustra este cenário exposto [20].

#### Distribuição dos custos do comissionamento - Edifícios Novos

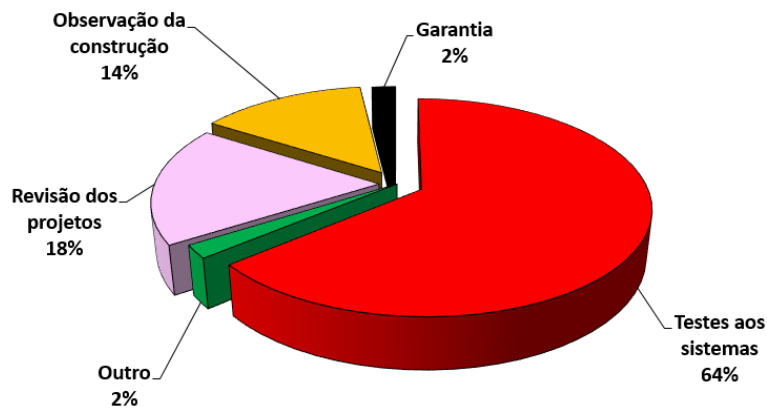


Figura 12 - Distribuição dos custos do processo de comissionamento - Edifícios Novos. [20]

Explorando um pouco mais a situação dos novos edifícios, segue-se uma análise mais detalhada sobre os custos inerentes às respetivas atividades de cada fase do processo.

Na fase de pré-projeto (FPE), com a aplicação do PC surgem tarefas específicas que dizem respeito essencialmente à AC mas também exigem algum esforço adicional dos projetistas em relação aos demais projetos que não são alvos do comissionamento. As tarefas consideradas

indispensáveis, levadas a cabo pela AC, consistem em i) garantir que os RDO são devidamente documentados; ii) garantir que os projetistas desenvolvem uma memória descritiva (MD) completa; iii) fornecer uma análise independente dos projetos tendo em vista a perspetiva da operação dos sistemas; iv) garantir que o comissionamento se reflete adequadamente nas especificações do projeto. Outras tarefas podem ser conduzidas pela AC, nomeadamente uma análise mais detalhada sobre o projeto sobre questões de QAI, manutenibilidade, eficiência energética, sustentabilidade, entre outras. Para projetos que incluam estas tarefas, os custos da aplicação do PC rondam a gama de um a três décimos de 1% do custo total da construção para um edifício típico de escritórios. Tipicamente, os custos com a AC rondam os 75% dos custos totais na fase de projeto de execução (FPE) e os restantes 25% dizem respeito aos projetistas e às tarefas que estes desempenham [24].

Na fase de construção (FC) e na fase de operação e manutenção (FO&M), o comissionamento engloba um conjunto de tarefas imprescindíveis, lideradas pela AC, nomeadamente: desenvolvimento de listas de controlo de construção, avaliação da construção, planejar, observar e documentar os testes de desempenho funcional (iniciais e sazonais), verificar a formação dos técnicos da operação e manutenção, desenvolver o manual dos sistemas (MS), salvaguardar os equipamentos atendendo aos períodos de garantia e assegurar o correto funcionamento das instalações durante os anos seguintes. A Tabela 4 apresenta os custos do comissionamento para edifícios novos, custos que englobam apenas os serviços prestados pela AC. Os empreiteiros, por sua vez, vêm as suas funções principais, designadamente participar em reuniões, completar as listas de controlo da construção e levar a cabo os testes de desempenho funcional, custarem, aproximadamente 10 a 25% dos custos relacionados com as funções da AC. Quanto aos projetistas, as suas funções nestas fases, atualizar o plano de comissionamento (P<sub>C</sub>) e participar em algumas reuniões, não implicam custos significativos para o processo na sua globalidade [24].

*Tabela 4 - Custos estimados do comissionamento para novos edifícios [7]*

<b>Âmbito do comissionamento</b>	<b>Custos estimados</b>
Todo o edifício (sistemas de controlo, elétricos e mecânicos) – desde a FPP até à FO&M	0,5% - 3% (dos custos totais de construção)
AVAC e respetivos sistemas de controlo	2% - 3% (dos custos totais do contrato mecânico)
Sistemas elétricos	1% - 2% (dos custos totais do contrato elétrico)

Outra perspetiva a que se pode recorrer para compreender os custos associados ao comissionamento de novos edifícios é estimar esses mesmos custos por área de superfície. A Figura 13<sup>4</sup> apresenta então uma estimativa dos custos médios (valores da mediana amostral),

<sup>4</sup> O gráfico da Figura 13 é adaptado de [24]. O eixo das ordenadas foi convertido de \$/ft<sup>2</sup> para €/m<sup>2</sup>. O eixo das abcissas foi convertido de milhares de ft<sup>2</sup> para milhares de m<sup>2</sup>. Fator de conversão para a unidade de área: 1ft<sup>2</sup>=0,09m<sup>2</sup>. Fator de conversão para a unidade monetária à data da apresentação do estudo, em fevereiro de 2002: 1\$=1,15€.

podendo estes variar em função, principalmente, do tipo de equipamento instalado e do rigor na implementação do PC. Foram avaliados quatro tipos diferentes de novos edifícios: simples, moderados, complexos e especiais.

- Edifícios simples englobam escritórios e escolas com um número reduzido de equipamentos, controlos *standards* e sistemas comuns;
- Edifícios moderados que abrangem escritórios mais complexos e escolas com laboratórios onde o nível de automação do edifício é maior, há mais estratégias de controlo e mais sistemas;
- Edifícios complexos como hospitais e laboratórios onde os sistemas são mais complexos e exigem maior rigor no seu controlo e inspeção;
- Edifícios especiais que abrangem instalações com um grau de complexidade muito elevado, como o caso de uma prisão por exemplo (não estão contabilizados os custos do comissionamento dos sistemas de segurança).

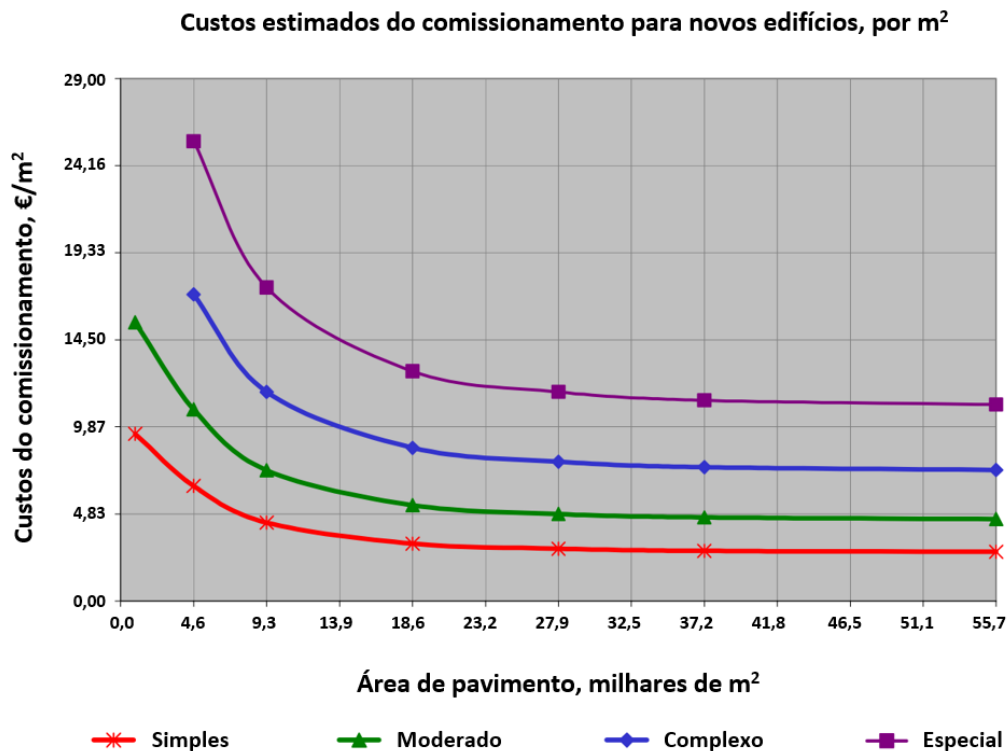


Figura 13 - Custos por unidade de área do comissionamento para novos edifícios. [24]

A evolução dos custos apresentada na Figura 13 inclui as seguintes tarefas do processo de comissionamento: avaliação dos documentos de aceitação, desenvolvimento de listas de controlo, supervisão da construção, desenvolver, aplicar e documentar os testes de desempenho funcional, providenciar formação aos técnicos e desenvolver os manuais de operação e manutenção. [24]

De notar que à medida que as curvas se aproximam do eixo das ordenadas, tornam-se mais verticais. A experiência também mostra que um edifício de 9300 m<sup>2</sup> teria custos relacionados

com a aplicação do PC na ordem dos 17 €/m<sup>2</sup> e dos 4,8 €/m<sup>2</sup> dependendo se se trata de um edifício considerado especial ou simples, respetivamente. [24]

O comissionamento é visto, muitas vezes, como um luxo ou como um custo acrescentado, contudo, é apenas um barómetro do custo dos erros que foram cometidos por elementos envolvidos na conceção, projeto, construção ou operação do edifício. A AC é apenas o “mensageiro”, com uma eficaz implementação do PC só identifica e revela os meios para lidar com problemas pré-existentes. [20]

Passemos para a subsecção seguinte para avaliar as poupanças e retornos da aplicação do comissionamento.

### **2.2.5. Poupanças do comissionamento**

Perante o cenário atrás exposto, para que o comissionamento seja um processo viável, terá que produzir poupanças que possam mitigar e mesmo anular os custos inerentes que acarreta e que foram alvos de análise anteriormente. Com efeito, a economia de energia tende a subir com o aumento da área útil dos edifícios e da complexidade dos seus sistemas e ainda com o alargamento do âmbito do PC [20].

A economia de custos é uma vantagem do comissionamento, e torna-se ainda mais significativa quando a aplicação do processo inicia na fase de preparação do projeto (FPP). A explicação para tal, deve-se ao facto de erros cometidos no papel serem muito menos custosos no momento da sua reparação do que erros cometidos na FC. A identificação e resolução de questões na FPP reduz futuras alterações do projeto bem como confrontos com os empreiteiros e ajuda a manter o projeto dentro dos prazos e orçamentos estipulados [11].

Os donos de obra podem questionar como é que poderão pagar a implementação do PC quando já possuem orçamentos bastante limitados e quando o próprio processo implica, necessariamente, investimento adicional. A resposta reside na capacidade que o PC tem em identificar e solucionar problemas em fases preliminares do processo, o que lhe permite uma redução no orçamento da construção e menores custos operacionais, especialmente durante o primeiro ano de funcionamento, resultante de uma diminuição do número de reclamações dos utilizadores. Perante este cenário, é na poupança que se obtém nas fases subsequentes às de preparação e execução do projeto que o comissionamento prova que vale a pena o investimento inicial. No final de todo o processo, o edifício alvo de comissionamento fica mais económico que o edifício que não foi comissionado. A Figura 14 ilustra bem esta situação [7].



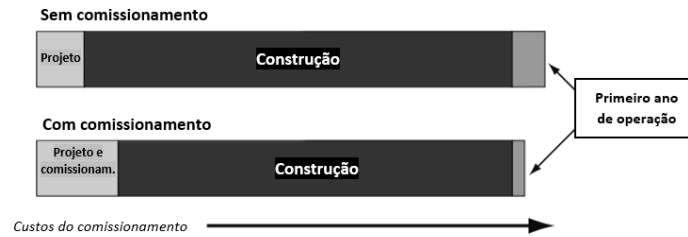


Figura 14 - Como pagar o comissionamento. [7]

Não comissionar um edifício, muitas vezes é considerado como um adiar dos problemas e transferir os custos para o futuro. Posto isto, a implementação do PC não deve ser vista como um custo “real”. Suporte-se estas afirmações com casos concretos, com uma análise detalhada efetuada a dois edifícios. Neste estudo, [15], apurou-se que 46% e 62% das deficiências identificadas durante a aplicação do comissionamento iriam manifestar-se no futuro em custos de reparação e manutenção elevados. Dessas anomalias, 4% e 10% iriam resultar num encurtamento do período de vida dos equipamentos caso não fossem rastreadas e solucionadas, 13% e 5% iriam refletir-se numa queda da produtividade dos ocupantes. Durante um projeto de comissionamento de 10 escolas na Califórnia em 2008 foi possível concluir que 32% dos problemas identificados iriam ter impacto significativo no aumento dos custos de operação e manutenção, 37% causariam degradação do conforto e QAI, 6% afetariam a segurança e 26% trariam impacto negativo no consumo de energia [15].

Os proprietários dos edifícios e os donos de obra estão interessados na poupança energética que se pode obter através de qualquer medida ou processo adicional que se implemente nos projetos habituais e o comissionamento não é exceção. Uma correta aplicação do PC tem uma grande probabilidade de proporcionar uma economia bastante considerável [7].

Um estudo apresentado em 2009, [15], realizado nos EUA (em 26 estados), avaliou a economia de custos obtida em 315 edifícios existentes e 38 edifícios novos. Para os edifícios existentes avaliados a poupança média por ano é de 2,29 €/m<sup>2</sup> e para os edifícios novos estudados a poupança média por ano é de 1,42 €/m<sup>2</sup> (valores que representam a mediana amostral)<sup>5</sup>. A Figura 15 apresenta a economia de custos que se pode obter nos dois casos, por ano. Essa poupança de custos resulta numa poupança energética (quantificada em 163 edifícios existentes e 7 edifícios novos). A Figura 16 mostra a mediana amostral da poupança energética para edifícios existentes (16%) e para edifícios novos (13%) bem como os respetivos quartis (inferior e superior) [15].

<sup>5</sup> Importa precisar que neste caso particular, o estudo referenciado foi apresentado em julho de 2009, como tal, utilizou-se a conversão dólar-euro de acordo com as taxas de câmbio para essa data (1\$=0,71€). Fator de conversão para a unidade de área: 1ft<sup>2</sup>=0,09m<sup>2</sup>.

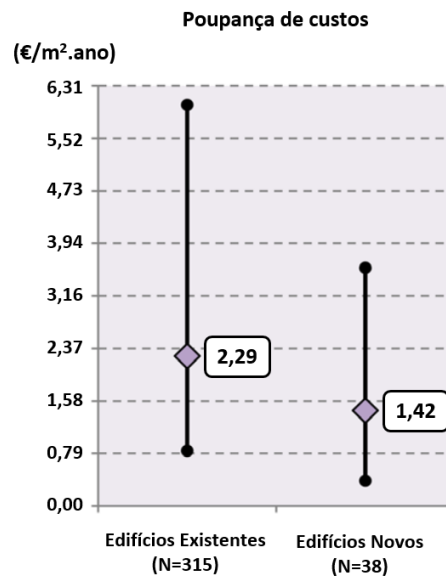


Figura 15 - Poupança de custos por ano. [15]

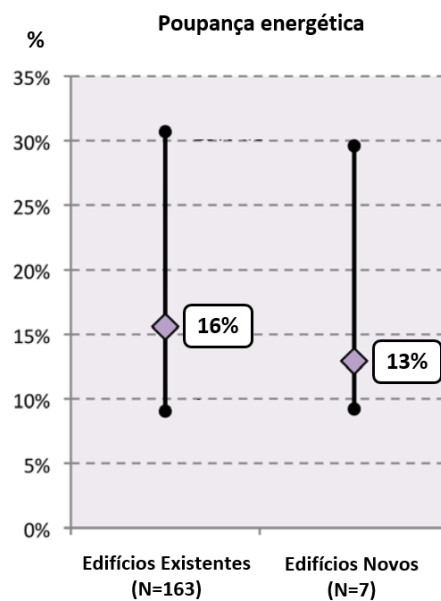


Figura 16 - Poupança energética (%). [15]

Um dos principais objetivos do comissionamento passa pela identificação de defeitos existentes no edifício e consequente mitigação dos mesmos. As principais deficiências detetadas têm que ver com o incorreto horário de equipamentos de iluminação e AVAC, com a incorreta sequência de equipamentos de arrefecimento e aquecimento, com a inadequada calibração de sensores e instrumentação, com a falta de documentação, de treino de operadores e de estratégias de controlo para conforto ótimo e operação eficiente. Parte destas questões ao serem detetadas em fases embrionárias do PC facilitam a sua correção e originam uma diminuição dos custos que delas proviriam. De facto, a resolução de problemas tem impactos positivos nos edifícios, impactos energéticos (cujas poupanças foram mencionadas anteriormente) e impactos não

energéticos (Figuras 9 e 10). Os impactos ditos não energéticos também conduzem a poupanças. A Tabela 5<sup>6</sup> mostra os valores de poupança obtidos para edifícios novos e existentes [15] [18] [20].

Tabela 5 - Poupanças provenientes dos impactos não energéticos [20]

10 Projetos avaliados de Edifícios Existentes	
Poupança por projeto (mediana)	12.070 €
Poupança por unidade de área (mediana)	1,42 €/m <sup>2</sup>
Quartil inferior	0,79 €/m <sup>2</sup>
Quartil superior	3,55 €/m <sup>2</sup>
22 Projetos avaliados de Edifícios Novos	
Poupança por projeto (mediana)	36.210 €
Poupança por unidade de área (mediana)	9,78 €/m <sup>2</sup>
Quartil inferior	1,81 €/m <sup>2</sup>
Quartil superior	54, 82 €/m <sup>2</sup>

Um estudo aprofundado, [15], permitiu colocar em perspetiva várias variáveis e empregou quatro tipos diferentes de indicadores [15]:

- Período de retorno:** neste indicador procede-se à divisão dos custos do projeto pelas poupanças de custos obtidas no primeiro ano. Sempre que o período de retorno é igual ou inferior ao período obtido através de outras alternativas de investimento, o projeto é considerado rentável. Obtiveram-se períodos de retorno na ordem de 1,1 e 4,2 anos para os edifícios existentes e novos edifícios, respetivamente.
- Relação custo-benefício:** esta relação é obtida dividindo a soma de todos os benefícios obtidos durante a vida útil estimada pelo custo total do projeto. Se o quociente for superior a 1, considera-se que o projeto é rentável. Os rácios médios obtidos foram de 4,5 para os edifícios existentes e de 1,1 para os novos edifícios.
- Retorno monetário:** este indicador permite concluir sobre o quociente entre as poupanças de custos do primeiro ano e os custos envolvidos no projeto. Fornece assim uma percentagem de retorno que se for igual ou superior a 10% (valor amplamente utilizado na indústria e que representa o retorno típico de investimentos alternativos) considera-se que o projeto é rentável. Os retornos médios foram de 91% para os edifícios existentes e 23% para os novos edifícios.
- Redução do impacto ambiental:** se este valor for negativo, indica que o projeto é rentável, é sinónimo de que o custo do comissionamento é ultrapassado pelo valor da poupança de energia. Este quociente entre o custo anual do projeto subtraídas as

<sup>6</sup> Importa precisar que neste caso particular, o estudo referenciado foi apresentado em julho de 2009, como tal, utilizou-se a conversão dólar-euro de acordo com as taxas de câmbio para essa data (1\$=0,71€). Fator de conversão para a unidade de área: 1ft<sup>2</sup>=0,09m<sup>2</sup>.

poupanças e a redução anual de emissões de gases de efeito de estufa resulta em custos médios de carbono evitados de -78,1 €/tonelada de CO<sub>2</sub> para edifícios existentes e de -7,75 €/tonelada de CO<sub>2</sub> para novos edifícios.

A Figura 17 ilustra os quatro indicadores descritos anteriormente.

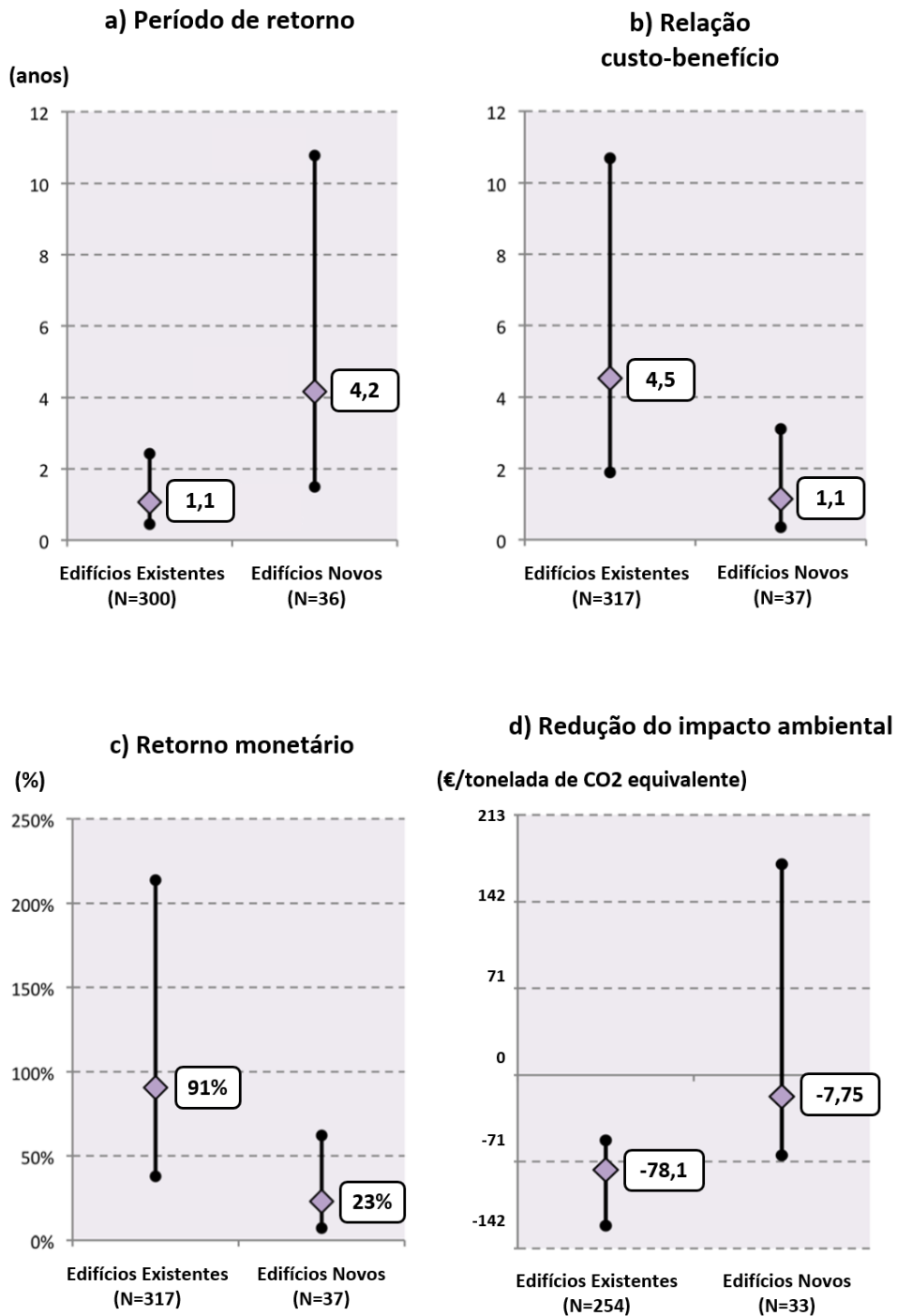


Figura 17 - Os quatro indicadores: a) período de retorno; b) relação custo-benefício; c) retorno monetário; d) redução do impacto ambiental. [15]

Já se referiu a importância de aplicar o PC em que o seu âmbito seja o mais alargado possível e o seu rigor e profundidade de implementação sejam os mais elevados. Após a fase de transição de obra é fundamental que se definam estratégias de melhoria contínua, que possam perpetuar todos os benefícios e poupanças intrínsecos ao processo. Neste sentido, efetuaram-se estudos quanto aos impactos da monitorização baseada nos princípios do comissionamento das instalações.

Essa monitorização combina práticas de monitorização contínua dos sistemas com práticas associadas ao recomissionamento e retro comissionamento. Analisando atentamente a Figura 18 é possível concluir que se pode obter cada vez mais poupança de energia, aplicando três tipos de estratégias que originarão as respetivas poupanças [25]:

- 1) A identificação precoce de anomalias através de processos de medição de consumos e de análise de tendência permitem otimizar a poupança e evitar que estas se degradem ao longo da vida útil dos sistemas;
- 2) A aplicação de medidas de melhoria que só poderiam ser executadas após a identificação das deficiências através da medição e análise de tendência. Medidas para solucionar problemas como o desequilíbrio dos caudais de água do sistema ou o fraco controlo sobre a distribuição de ar pelos registos e pelas válvulas de água quente;
- 3) Identificação contínua de problemas como o aquecimento e arrefecimento excessivos e consequente aplicação de medidas corretivas.

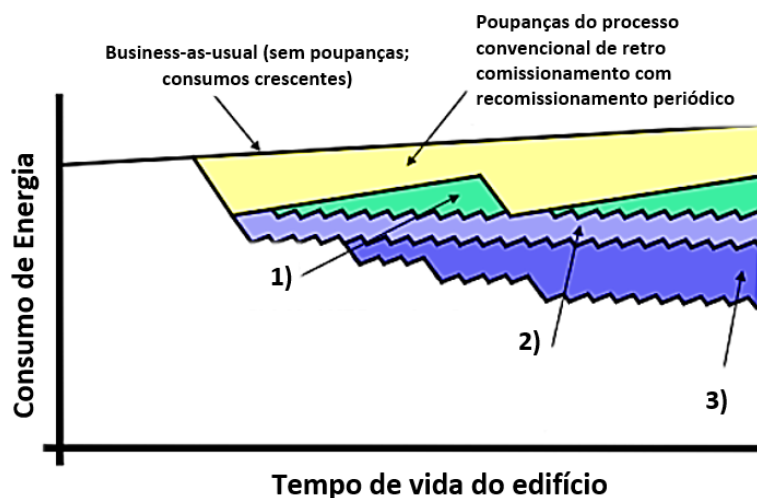


Figura 18 - Poupanças energéticas provenientes da aplicação de comissionamento em edifícios existentes e poupanças adicionais sobre a perspetiva de 3 tipos de estratégias. [15]

A análise anterior refletiu-se em estudos realizados em 2006 e 2009, [15], onde se avaliaram cerca de 34 projetos. Foram 1120 as combinações entre deficiências detetadas e intervenções aplicadas. Após a execução das medidas corretivas verificou-se uma significativa poupança energética. À custa da aplicação de estratégias de monitorização contínua verificaram-se poupanças médias de 10% (para uma gama de 2% a 25%). As poupanças no pico do consumo elétrico foram de 4% (o que representou poupanças na ordem dos 2,22 W/m<sup>2</sup>.ano), para uma

gama de 3 a 11%. Os custos para os edifícios que adotaram estas estratégias foram de 2,92 €/m<sup>2</sup> até 12,78 €/m<sup>2</sup> (sendo o valor da mediana de 7,89 €/m<sup>2</sup>). As poupanças de custos obtidas foram de 1,97 €/m<sup>2</sup> (mediana), o que se traduz num período de retorno de 2,5 anos. [15]

Outro estudo, [15], que revela o interesse relacionado com a persistência das poupanças obtidas pelo comissionamento, avaliou 36 edifícios. Cada projeto é representado por uma linha cinzenta (Figuras 19 e 20). A curva a vermelho indica o valor da mediana para cada tipo de energia analisada. Na globalidade, todos os edifícios existentes avaliados foram alvo de recomissionamento durante os anos seguintes à conclusão da construção. Só deste modo é que se pode verificar, no geral, o aumento da percentagem da poupança energética ao longo dos anos. (Figura 19) Verifica-se que no primeiro ano, após comissionamento inicial, a poupança é evidentemente crescente. Durante o segundo ano de utilização, esse aumento tende a estagnar, muito por culpa de algumas medidas do comissionamento serem de cariz “estático”<sup>7</sup>. Após o segundo ano existe uma diminuição da poupança, o que indica a necessidade de se aplicar um plano de recomissionamento que permitirá que as poupanças voltem a aumentar após o terceiro ano de funcionamento [15].

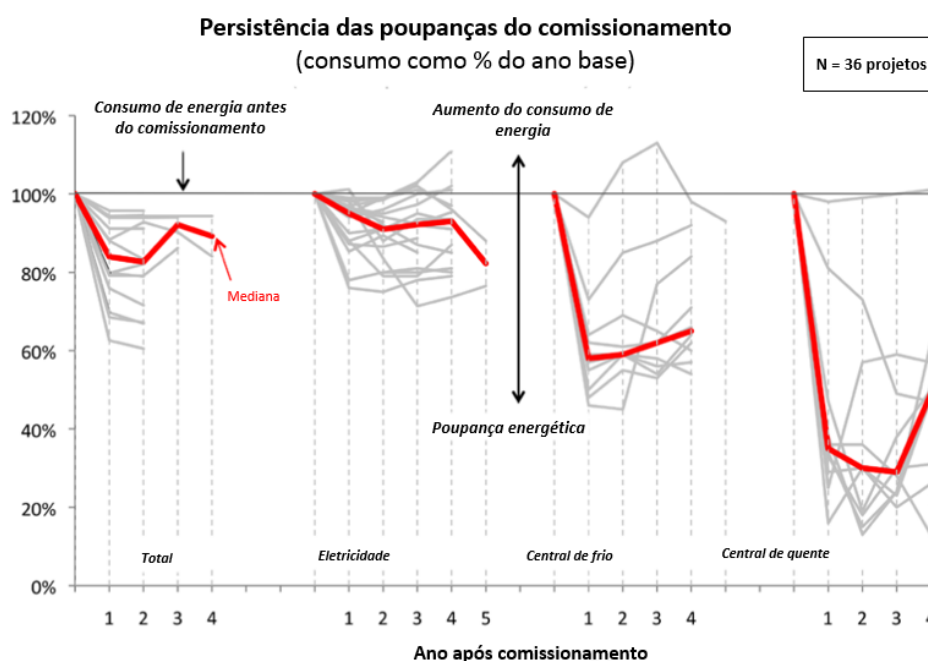


Figura 19 - Persistência das poupanças do comissionamento (consumo como % do ano base). [15]

Avaliando a Figura 20 é de fácil conclusão que se consegue não só que as poupanças não diminuam no tempo mas como aumentem ligeiramente com o passar dos anos em relação ao comissionamento inicial. Isto só é exequível quando a implementação do comissionamento inclui estratégias de atuação permanentes e possibilidade de medição contínua [15].

<sup>7</sup> Entende-se por medidas de cariz “estático” aquelas que se aplicam uma vez durante todo o processo. Normalmente estão inseridas em todas as fases até à construção, inclusive.

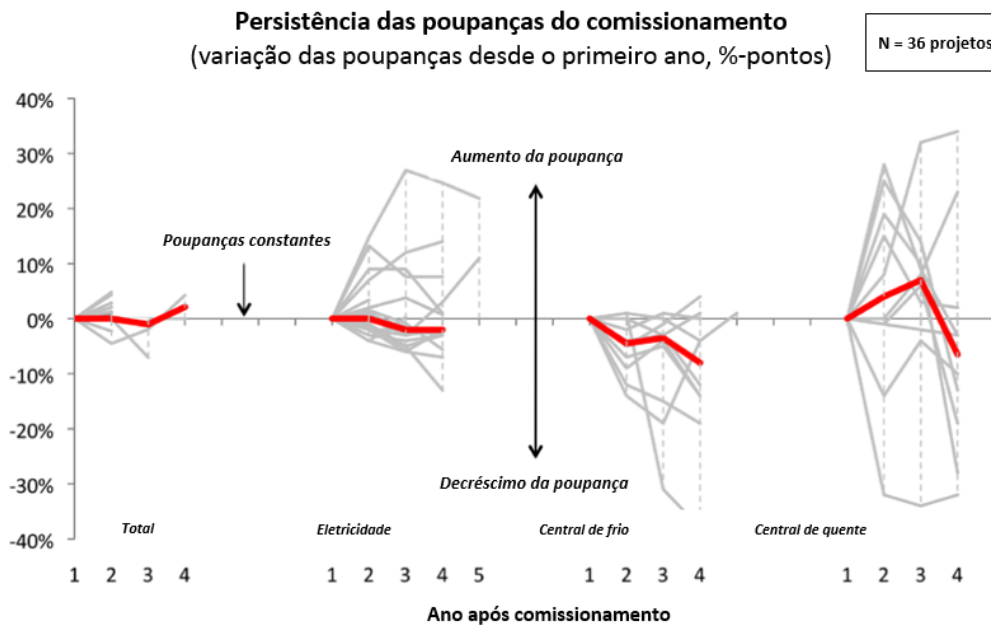


Figura 20 - Persistência das poupanças do comissionamento (variação das poupanças a partir do primeiro ano).  
[15]

É possível definir algumas estratégias para otimizar a relação custo-benefício do processo de retro comissionamento. Essas estratégias podem e devem ser adotadas pelos técnicos responsáveis pelas instalações por forma a potenciar toda a capacidade de uma posterior implementação de retro comissionamento. Posto isto, os técnicos devem realizar as seguintes tarefas e procurar mante-las durante toda a vida útil do edifício [26]:

- Recolher e atualizar toda a documentação do edifício;
- Executar uma manutenção preventiva adequada;
- Efetuar reparações simples e melhorias no decorrer do projeto;
- Efetuar monitorização contínua e levar a cabo testes de desempenho funcional;
- Implementar as melhorias consideradas mais relevantes para a redução dos consumos e obtenção de poupanças.

Fica a reter a ideia fundamental de que devem ser aplicadas medidas que contribuam para a persistências dos benefícios do comissionamento, essas medidas devem ser aplicadas durante toda a vida útil das instalações.

No capítulo seguinte ir-se-á explorar, detalhadamente, o processo de comissionamento, PC, e o processo de retro comissionamento, PRC.





## Capítulo 3 – Comissionamento

---

O comissionamento procura que se assegure que os sistemas obedeçam aos requisitos do proprietário do edifício do ponto de vista ambiental, energético e ainda ao nível do uso das instalações. Um dos principais objetivos é conciliar a existência de condições interiores saudáveis e de conforto com o mínimo de energia consumida, conservando assim o ambiente interior, contribuindo ainda para o aumento do ciclo de vida dos sistemas [14].

Quando se investiga sobre este tema é frequente o aparecimento de vários termos com origem na palavra comissionamento. É possível definir uma terminologia que permita a distinção entre eles. Cada termo, na prática, irá conduzir a um tipo de comissionamento, sendo possível identificar quatro tipos [14]:

- *Initial Commissioning* ou comissionamento, que se aplica a edifícios novos e a instalação de novos sistemas, ou seja, pode instalar-se um sistema novo de refrigeração num edifício existente mas que só possuía sistema de aquecimento. É descrito como um processo sistemático que se inicia na fase de pré-projeto (FPP) até à fase de operação e manutenção (FO&M);
- *Re-Commissioning* ou recomissionamento, aplicável após um comissionamento inicial ou retro comissionamento e surge quando o dono de obra espera verificar, melhorar e/ou documentar o desempenho do sistema. Motivado geralmente por novas necessidades dos utilizadores, descoberta de mau desempenho dos sistemas ou desejo de corrigir falhas detetadas inicialmente. O recomissionamento reaplica o comissionamento original mantendo os sistemas a cumprir os requisitos desejados;
- *On-Going Commissioning* ou comissionamento contínuo é um tipo de comissionamento realizado continuamente para fins de manutenção, melhoria e otimização dos sistemas que sofreram comissionamento inicial e/ou retro comissionamento. Diferente do recomissionamento na medida em que não se refere à performance original dos sistemas mas foca-se na otimização do desempenho. Procura resolver problemas operacionais, melhorar o conforto, otimizar o consumo energético e pode ainda recomendar *retrofits*;
- *Retro-Commissioning* ou retro comissionamento aplica-se a edifícios já existentes mas que nunca foram alvos de qualquer tipo de comissionamento anteriormente. Em muitos casos, os documentos do projeto do edifício existente ou se perderam ou não são verdadeiramente compatíveis com a realidade atual.

De uma forma sucinta, pode afirmar-se que o comissionamento se aplica a edifícios e sistemas novos e que os outros três tipos se aplicam a edifícios já existentes. No caso de não ter havido qualquer comissionamento prévio, aplica-se o conceito de retro comissionamento. O

recomissionamento e o comissionamento contínuo aplicam-se em edifícios existentes, anteriormente comissionados. A Tabela 6 permite distinguir de forma simples os quatros tipos de comissionamento. [27]

Tabela 6 - Tipos de comissionamento e a sua diferenciação [27]

<b>Terminologia - Tipos</b>	<b>Nova Construção</b>	<b>Edifícios Existentes</b>	<b>Anteriormente Comissionados</b>	<b>Nunca antes Comissionado</b>
<b>Comissionamento</b>	✓			
<b>Comissionamento contínuo</b>		✓	✓	
<b>Recomissionamento</b>		✓	✓	
<b>Retro comissionamento</b>		✓		✓

### 3.1. Diferença entre comissionamento e auditoria

Quando se aborda o tema do comissionamento é frequente justificar a sua aplicação com base na obtenção de poupança de energia, procurando um retorno do investimento realizado. Este retorno não tem origem apenas na vertente da poupança energética, ele também é obtido, por exemplo, através da poupança nos custos de manutenção, da extensão de vida do equipamento, do aperfeiçoamento da produtividade e da melhoria do ambiente interior. Contudo, é frequente que se atribua maior ênfase à poupança energética em projetos deste tipo [27].

A obtenção da classificação LEED passou a ser um pré-requisito nos edifícios existentes alvos de comissionamento. Este pré-requisito implica que todas as medidas de baixo custo e as medidas sem custo aplicadas ao edifício sejam implementadas nos primeiros dois anos [27].

Os termos poupança energética, medidas de baixo custo e medidas de sem custo facilmente são associados a um serviço diferente do comissionamento: a auditoria energética. É de notar que na definição de auditoria energética são incluídos serviços como a identificação de melhorias operacionais e de manutenção de baixo custo, redução do desperdício obtendo assim poupança energética, reparações e ajustes de baixo e sem custo efetuados pelos técnicos de operação das instalações. Tendo em conta esta definição, pode afirmar-se que comissionamento e auditoria partilham de tarefas com características semelhantes, contudo, as prioridades não são coincidentes entre os dois serviços e existe, de facto, diferenças entre eles [27].

Observando a Tabela 7 conclui-se que o comissionamento se preocupa fundamentalmente com as melhorias operacionais e de manutenção e ainda com as oportunidades de poupança energética sem custo e de baixo custo, ao passo que a auditoria tem como prioridade apenas o que está relacionado com as oportunidades de poupança energética, sejam elas de baixo custo, sem custo ou baseadas em *retrofits*.

Tabela 7 - Prioridades do comissionamento e da auditoria energética em edifícios existentes [27]

<i>Serviço</i>	<i>Melhorias operacionais e de manutenção</i>	<i>Oportunidades de poupança sem custo e de baixo custo</i>	<i>Oportunidades de poupança de capital de retrofit</i>
<b>Comissionamento em edifícios existentes</b>	Prioritário	Prioritário	Secundário
<b>Auditoria energética</b>	Secundário	Prioritário	Prioritário

Em suma, ao passo que o comissionamento é um processo que procura que todo o edifício e os seus sistemas funcionem e sejam alvos de manutenção de acordo com os requisitos em vigor da instalação, a auditoria é um estudo sistemático para identificar como é que a energia pode ser usada no edifício tendo em linha de conta todas as oportunidades de poupança de energia que estão envolvidas. O comissionamento pretende ser um processo que se aplica durante todo o ciclo de vida do edifício, já a auditoria energética é aplicada, tipicamente, uma vez, a menos que algo seja alterado ou que seja passado um largo período de tempo após a última inspeção [27].

### 3.2. O Processo de Comissionamento, PC

Segundo a ASHRAE, o processo de comissionamento (PC) é um processo orientado para a qualidade para alcançar, verificar e documentar que o desempenho das instalações, sistemas e equipamentos atendem aos objetivos e critérios definidos. O comissionamento deve ser visto como um conjunto de ações orientadas no sentido da qualidade com o objetivo de verificar e documentar segundo determinados critérios e requisitos previamente definidos [19] [23].

Uma visão atual deste processo confere-lhe um protagonismo que está longe da sua definição mais completa, pois o comissionamento não compreende apenas tarefas desempenhadas durante a construção do edifício, é sim um processo muito mais profundo que tem início, idealmente, numa fase de pré-projeto e que se prolonga por toda a vida do edifício ou sistema (através das fases de ocupação e operação). Esta visão mais abrangente permite interligar, de forma consistente, quatro perspetivas diferentes: as expectativas do proprietário do edifício ou dono de obra, o projeto desenvolvido pelos projetistas, os sistemas montados pelos empreiteiros e o funcionamento contínuo levado a cabo pelo utilizador ou operador. Pode concluir-se que o PC não é composto por uma simples etapa que se realiza na fase de construção ou até na conceção do projeto, é antes um processo que inclui tarefas específicas a serem realizadas durante cada fase com o objetivo de verificar que o projeto, a construção, a formação, a operação e a manutenção obedecem aos RDO [14] [23].

A grande diferença entre o PC e os outros processos que se aplicam atualmente na generalidade dos casos é que esses mesmos processos focam-se, praticamente, a 100% na verificação e avaliação apenas durante a construção e só a alguns itens dos sistemas ou instalações ao passo que o PC inicia a verificação e avaliação na fase de pré-projeto, continuando na execução do

projeto até à construção e durante todo o ciclo de vida das infraestruturas, e só desta forma é que o comissionamento poderá potenciar os seus benefícios. Como o PC se foca na melhoria da qualidade, isso só é possível alcançar quando a avaliação é rigorosa e se reflete em inspeções aleatórias a todos os sistemas e equipamentos para que se possam cumprir com os RDO [19] [23].

O processo de comissionamento tem como principais objetivos [23]:

- Documentar de forma clara os RDO;
- Fornecer documentação e ferramentas adequadas para melhorar a qualidade do produto final;
- Verificar e documentar que os sistemas e equipamentos funcionam de acordo com os RDO;
- Garantir que a documentação do sistema é adequadamente fornecida ao proprietário ou dono de obra;
- Assegurar que o pessoal da operação e manutenção, bem como os ocupantes, são devidamente instruídos para desempenhar as funções que lhe estão atribuídas;
- Providenciar um processo uniforme e eficaz para a entrega dos projetos de construção;
- Efetuar a entrega dos projetos e dos próprios edifícios, aquando da sua conclusão, de acordo com as necessidades do proprietário e dentro dos prazos definidos;
- Utilizar técnicas baseadas no controlo de qualidade por forma a detetar problemas sistemáticos, efetuando assim um controlo eficaz que se irá traduzir em resultados mais precisos e numa redução dos custos de projeto;
- Assegurar uma adequada coordenação entre todos os intervenientes no processo.

Sob o ponto de vista da comunicação entre as diferentes entidades durante o processo, é expectável que o comissionamento melhore essa mesma comunicação e entendimento entre os intervenientes envolvidos por forma a garantir que todos eles compreendem na plenitude os objetivos e propósitos do projeto. Esta relação estreita promove essencialmente a rápida identificação de problemas, evitando que as falhas surjam em fases avançadas quando a sua resolução acarretaria custos mais elevados. A coordenação estreita entre as diferentes especialidades é uma das chaves para que a aplicação do PC seja um sucesso, pois existe interdependência entre a maioria dos sistemas, ou seja, no caso de haver uma deficiência no funcionamento de um deles isso irá refletir-se num pior desempenho dos restantes [8] [19].

A Figura 21 apresenta as diferentes fases do PC, fase pré-projeto (FPP), fase de projeto de execução (FPE), fase de construção (FC) e fase de operação e manutenção (FO&M) bem como o encadeamento sequencial e lógico das mesmas.

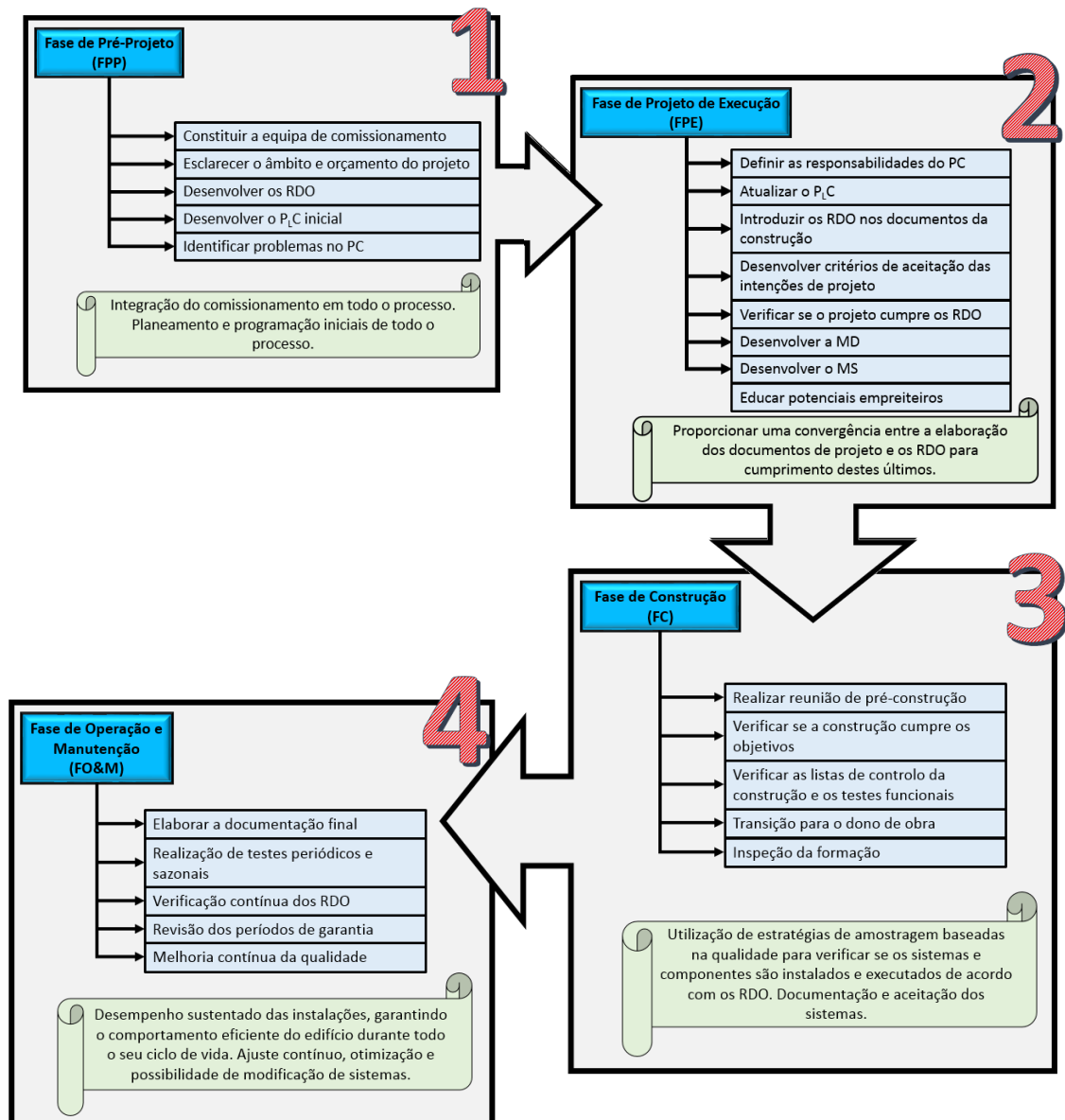


Figura 21 - Fases do PC com as respetivas tarefas e objetivos fundamentais.

Na seguinte subsecção apresenta-se uma descrição de cada fase do PC.

### 3.2.1. Fases do Processo de Comissionamento (PC)

#### *Fase de Pré-Projeto (FPP)*

A FPP é uma fase de preparação do processo, desde o programa base até ao estudo prévio e ao anteprojecto, e de desenvolvimento dos RDO. É uma fase fundamental para o sucesso de todo o processo. É de salientar que a maioria dos problemas que surgem nas fases de execução do projeto e construção têm origem na incorreta implementação da FPP: ou porque a definição dos objetivos do projeto não foi a mais adequada ou porque os projetistas não conseguiram compreender os RDO. O objetivo principal é planejar de forma cuidada e adequada as fases posteriores. Nesse sentido são realizadas as tarefas listadas na Tabela 8 [7] [19] [28].

Tabela 8 – Tarefas fundamentais da fase de pré-projeto [29]

Fase de Pré-Projeto (FPP)	a) Definir a constituição da equipa de comissionamento
	b) Esclarecer o âmbito e o orçamento
	c) Desenvolver os RDO
	d) Desenvolver o P <sub>L</sub> C;
	e) Identificar problemas no PC.

#### a) Definir a constituição da equipa de comissionamento

É importante definir a constituição da equipa de comissionamento nesta fase inicial, pois quanto mais cedo a equipa se formar, mais rapidamente pode tomar conhecimento de todo o processo e maior é a probabilidade do PC ser aplicado com sucesso. A EC deve incluir [19]:

- Dono de obra e/ou seus representantes, como o gestor de projeto, representante dos utilizadores, perito qualificado, técnico responsável pelo funcionamento e técnicos de condução e manutenção;
- Autoridade de comissionamento, AC;
- Projetistas de todas as especialidades;
- Engenheiro responsável pela execução das instalações;
- Arquiteto;
- Fornecedores de equipamentos;
- Empreiteiro de AVAC, de eletricidade e de GTC;
- Entidades que realizam ensaios, ajustamentos e equilíbrios de caudais;
- Especialistas na qualidade do ar interior, de acústica, de segurança, de iluminação.

#### b) Esclarecer o âmbito e orçamento

Por forma a definir um orçamento para o projeto, é importante compreender os objetivos do PC para os sistemas. No caso particular dos sistemas AVAC&R, há que contabilizar os seguintes cenários [19]:

- Fornecimento de energia (sob a forma de gasóleo, gás, eletricidade, água aquecida/arrefecida, de fonte renovável);
- Produção de calor (onde se inserem as caldeiras e equipamentos similares);
- Produção de frio (incluindo *chillers*, torres de arrefecimento, bombas e equipamentos similares);
- Redes de distribuição de ar, água, fluido frigorigéneo, redes de exaustão, UTA's e equipamentos similares;
- Unidades autónomas e unidades terminais (incluindo ventiloconvectores, humidificares, desumidificares, unidades de indução e equipamentos similares);
- Instrumentação e controlo dos sistemas como sistemas elétricos, eletrónicos, pneumáticos, com auto alimentação e semelhantes.

### **c) Desenvolver os RDO**

Os RDO devem constituir um documento que descreve os requisitos funcionais do projeto, bem como as expectativas sobre o mesmo. Este documento deve descrever como o projeto vai ser conduzido, quais os objetivos e os parâmetros que podem ser avaliados e quais são as metas de consumo de energia a atingir se o dono de obra assim as pretender definir. Estes requisitos definem os critérios para todas as decisões de projeto subsequentes [7] [29].

O documento é desenvolvido pelo proprietário do edifício ou dono de obra e é apresentado a toda a equipa de comissionamento com o objetivo de validar as ideias e fazer com que os objetivos sejam compreendidos por todos os envolvidos no processo [29].

É importante referir que este documento vai ser atualizado durante o processo de comissionamento. É também relevante que todas as alterações sejam devidamente registadas ao longo de todo o processo [29].

### **d) Desenvolver o P<sub>L</sub>C**

Com o plano de comissionamento, P<sub>L</sub>C, pretende-se documentar de forma clara e detalhada as fases do comissionamento de modo a minimizar possíveis mal-entendidos e a maximizar o uso da energia e consequente produtividade do edifício [28].

O P<sub>L</sub>C identifica e calendariza os processos e procedimentos necessários à realização do PC de acordo com os RDO. O plano inclui a calendarização das atividades do PC, as responsabilidades individuais, requisitos dos documentos, protocolos de comunicações e procedimentos de avaliação [19].

Este documento deverá estar acessível ao proprietário, ao arquiteto, ao engenheiro e ao empreiteiro. Uma vez que o P<sub>L</sub>C é mantido em permanente atualização, todas as alterações ao plano inicial devem ser efetuadas e aprovadas pela autoridade de comissionamento, AC, e deste modo refletirem-se nas fases subsequentes. Todas as atualizações devem ser anexadas ao plano inicial pelas entidades que têm acesso ao documento [19] [29].

### **e) Identificar problemas no PC**

Durante todo o processo de comissionamento, a AC procura identificar aspetos que não vão ao encontro dos requisitos definidos inicialmente. Esta localização dos eventuais problemas tem como principal objetivo assegurar que todo o processo se desenrola em conformidade com o planeamento previamente estipulado evitando assim problemas nas fases subsequentes [29].

Qualquer ocorrência que não esteja em conformidade com os RDO, seja ela uma questão de projeto, de instalação ou de desempenho, deve ser documentada recorrendo à seguinte informação [19]:

- Identificação numérica/alfanumérica única, pela qual a questão deve ser seguida;
- Título descritivo que resuma a ocorrência;
- Data e hora da identificação da anomalia;

- Identificação do sistema, equipamento ou instalação com que está relacionada a ocorrência;
- Descrição da ocorrência observada;
- Recomendação de uma ação corretiva;
- Identificação do responsável pela resolução da questão;
- Data em que se prevê concluir a correção da anomalia;
- Descrição da ação corretiva realizada;
- Identificação das alterações nos RDO, se aplicável;
- Identificação dos responsáveis pela resolução da ocorrência.

Após a deteção de alguma anomalia, esta deve ser devidamente registada, sendo recomendado que esse registo seja seguido de uma avaliação do custo da reparação e da respetiva poupança energética que daí poderá resultar [29].

Fazem parte da FPP os seguintes documentos: âmbito e orçamento do PC, RDO, P<sub>L</sub>C, relatório de registo de ocorrências e relatório de progresso do PC. Destes atrás mencionados, os RDO e P<sub>L</sub>C são desenvolvidos também nas fases seguintes, ou seja, estão em permanente atualização [19].

### ***Fase de Projeto de Execução (FPE)***

Durante a fase de projeto de execução (FPE) há a preocupação de garantir que as ideias e os conceitos desenvolvidos na FPP são aplicados em conformidade. No decurso desta fase, os projetistas envolvidos, quer o arquiteto quer o engenheiro, devem procurar garantir que os conceitos operacionais e de eficiência desenvolvidos na FPP se refletem no projeto final. Nesta fase há ainda que garantir que o comissionamento se está a refletir adequadamente no caderno de encargos e que não existem anomalias no final de cada tarefa concluída [7] [8].

Para levar a cabo esta etapa do processo de comissionamento devem ser realizadas as seguintes atividades, que estão enunciadas na Tabela 9.

*Tabela 9 – Tarefas fundamentais da fase de projeto de execução [28]*

<b>Fase de Projeto de Execução (FPE)</b>	a) Definir as responsabilidades do PC na FPE
	b) Atualizar o P <sub>L</sub> C
	c) Introduzir os RDO nos documentos da construção
	d) Desenvolver critérios de aceitação das intenções de projeto
	e) Verificar se o projeto cumpre os RDO
	f) Desenvolver a memória descritiva, MD
	g) Desenvolver o manual dos sistemas, MS
	h) Educar potenciais empreiteiros



#### **a) Definir as responsabilidades do PC na FPE**

A responsabilidade central da EC na FPE é assegurar que os documentos de construção estão de acordo e refletem claramente os RDO. Com efeito, essas responsabilidades passam por [19]:

- Construir e manter a coesão e cooperação entre a equipa de projeto;
- Ajudar o dono de obra na avaliação dos requisitos que guiarão o PC;
- Verificar que as atividades do PC estão definidas de forma clara em todos os projetos e integrá-las na calendarização dos mesmos;
- Desenvolver o âmbito e o orçamento das atividades que dizem respeito ao projeto;
- Identificar os especialistas que serão responsáveis pelo acompanhamento das atividades para sistemas e instalações específicos;
- Conduzir e documentar as reuniões, informando todos os membros da equipa das decisões que resultam em alterações aos RDO;
- Acompanhar e documentar as ocorrências e desvios aos RDO, registando a respetiva resolução;
- Verificar a documentação e desenvolvimento da memória descritiva, MD;
- Desenvolver as listas de controlo da construção;
- Desenvolver requisitos para os ensaios das fases de construção e operação e condução;
- Desenvolver requisitos para a formação;
- Atualizar os RDO e o P<sub>LC</sub>;
- Elaborar e rever os relatórios de progresso do PC.

#### **b) Atualizar o P<sub>LC</sub>**

O P<sub>LC</sub> deve refletir as alterações nos RDO e incluir toda a informação adicional que surja na FPE. Devem então ser adicionados ou atualizados ao respetivo plano [19]:

- Sistemas e instalações a serem verificados e ensaiados;
- Calendarização das atividades das fases subsequentes, juntamente com os respetivos procedimentos inerentes a cada uma delas;
- Regras e responsabilidades de eventuais novos membros da equipa de comissionamento, bem como acordos profissionais e de fornecimento de serviços;
- Protocolos de comunicação das fases subsequentes, explicando como o fluxo de informação deve ser coordenado e distribuído entre os membros;
- Marcos relevantes a inserir na calendarização, como reuniões, sessões de formação, aceitação de desenhos e manuais, ensaios e inspeções, conclusão, ocupação, revisão das garantias e relatório final;
- Definir o nível e a quantidade de testes exigidos pelos fabricantes e prestadores de serviços.

São exemplo de sistemas e instalações a serem verificados e ensaiados os sistemas de fornecimento de energia, de segurança (alarmes, incêndio, falha de rede), de produção de calor, de produção de frio, de distribuição de AVAC&R, unidades terminais e compactas de AVAV&R, instrumentação e controlo de AVAC&R e outros sistemas e equipamentos AVAC [19].

### **c) Introduzir os RDO nos documentos da construção**

Com o objetivo de salvaguardar a operação do edifício a longo prazo, é essencial que os RDO se reflitam nos documentos que dizem respeito à construção. Com este objetivo presente, devem ser levadas a cabo um conjunto de tarefas que permitam a inclusão desses mesmos requisitos [28] [29]:

- Reunião pré-construção, onde são revistos os objetivos e os fundamentos do projeto pela AC, projetistas e dono de obra. O objetivo é o de formar uma equipa coesa que partilhe da mesma visão sobre o projeto;
- Conclusão das listas de controlo de construção, que permitem inferir sobre o progresso e cumprimento dos requisitos. Fornecidos pela AC, estas listas detalham componentes e sistemas que serão alvo de verificação durante a entrega da obra, a pré-instalação, a instalação e o arranque dos sistemas;
- Desenvolver os manuais dos sistemas, garantindo assim toda a informação necessária para a operação de longo-prazo e para a otimização dos sistemas instalados. Para se desenvolverem manuais completos devem ser requisitados ao empreiteiro os desenhos de fábrica dos componentes, informação de operação e manutenção, informação de instalação, manuais técnicos dos fabricantes, informações de desempenho dos equipamentos entre outros;
- Fornecer a formação adequada, percebendo de antemão qual o conhecimento atual sobre as atividades de operação e manutenção por parte dos intervenientes, que tipo de formação possuem e o que não funcionou em projetos anteriores;
- Planear os testes de desempenho funcional para documentar os sistemas instalados e verificar o cumprimento dos RDO. Após a instalação e o arranque dos sistemas, na próxima fase, a AC desenvolve procedimentos de testes que são levados a cabo pelo empreiteiro sobre a sua supervisão;
- Datar o início do período de garantia;
- Elaborar um certificado de conclusão assinado pelo proprietário, empreiteiro, projetistas e AC que confirma que o projeto está concluído e que as intenções do projeto foram alcançadas em determinada medida.

Deste modo, o PC vê os seus procedimentos de verificação e controlo da qualidade serem incluídos nos documentos da construção. No sentido do instalador compreender o projeto, devem ser incluídos nos documentos da construção informação constante na memória descritiva, MD, requisitos dos materiais e equipamentos, objetivos de sustentabilidade e racionalização energética e ainda informação sobre a utilização e funcionamento do edifício. Não sendo um requisito direto para o instalador, contribui para uma implementação do PC bem-sucedida [19].

### **d) Desenvolver critérios de aceitação das intenções do projeto**

Os projetistas, em conjunto com o dono de obra, procuram estabelecer critérios de aceitação para cada um dos itens que constam do documento dos RDO. Estes critérios devem ser específicos e mensuráveis numa perspetiva prática, devem incluir métodos de medição e verificação como testes funcionais ou análise da construção [7].

#### **e) Verificar se o projeto cumpre os RDO**

O objetivo principal desta tarefa não é encontrar todas as anomalias do processo, mas sim avaliar o trabalho desenvolvido pelos projetistas durante a FPE e se este vai de encontro ao cumprimento dos RDO. Para que a AC consiga verificar o projeto de forma mais eficaz e rápida, solicita à equipa de projetistas documentos de projeto onde se encontram os desenhos com as respetivas especificações, listas de controlo desenvolvidas pelos projetistas onde se infere sobre o cumprimento dos objetivos (sendo que qualquer anomalia deve ser documentada com uma recomendação de resolução anexada) e acesso à memória descritiva, MD, onde todos os pressupostos, cálculos e meios para atingir cada requisito são devidamente registados [28].

É aconselhável a realização de reuniões periódicas para verificar se os RDO estão a ser cumpridos proporcionando a resolução de questões sistemáticas, procurando sempre focar nos objetivos definidos desde o primeiro dia [28].

O processo de verificação do projeto resume-se à análise de uma compilação de informação que permita concluir de forma clara se o processo segue em conformidade com as intenções sobre o mesmo [28].

#### **f) Desenvolver a memória descritiva (MD)**

A equipa de projetistas desenvolve um documento que reúne todas as premissas assumidas, todos os fundamentos do projeto que estiveram na origem da tomada de decisões sobre a conceção do projeto de execução. Este documento, designado por memória descritiva, detalha os sistemas, os componentes, as condições e os métodos escolhidos para fazer face aos RDO em vigor. Por exemplo, este documento descreve as normas, parâmetros de temperatura e níveis de ocupação que serão considerados para dimensionar e selecionar os sistemas [7].

#### **g) Desenvolver o Manual dos Sistemas (MS)**

O manual dos sistemas é um documento que tem como objetivo auxiliar o dono de obra na compreensão, operação e manutenção dos sistemas instalados e ainda informar aqueles que não estiveram envolvidos quer no projeto, quer na construção. Tipicamente é a AC que está incumbida de desenvolver este manual, contudo, é frequente e aconselhável que esta recorra a outros elementos da EC para obter informação mais detalhada e precisa. Por exemplo, no caso dos projetistas, estes podem proporcionar informação de cariz mais teórico sobre a conceção dos projetos e da MD e ainda sobre sequências de operação que considerem as mais aconselháveis [7] [19].

O MS deverá ser também o repositório de informações sobre atualizações e correções para os sistemas e montagens à medida que estes ocorrem nas fases de construção e operação e manutenção. Na fase particular da operação e manutenção, o MS alarga o âmbito da documentação tradicional e inclui informação recolhida durante o PC, constituindo assim um documento com informação completa, organizada e estruturada [19].

#### **h) Educar potenciais empreiteiros**

Como a maioria dos empreiteiros não levou a cabo qualquer processo de comissionamento no passado, é essencial que, durante a reunião de pré-proposta, os empreiteiros candidatos ao projeto entendam o que muda com o comissionamento. Durante a reunião devem ser explicados os benefícios do comissionamento aplicados ao projeto em questão e devem também ser esclarecidos os procedimentos que vão ser adotados durante a implementação do processo. Ou seja, será apresentada ao empreiteiro informação sobre:

- Visão global das intenções do projeto;
- Visão global dos fundamentos do projeto;
- Agendamento de reunião pré-construção e reuniões periódicas;
- Listas de controlo da construção;
- Sessões de formação;
- Membros da equipa de comissionamento;
- Testes de desempenho funcional;
- Manuais dos sistemas;
- Benefícios para todos os intervenientes. [28] [29]

À exceção dos fundamentos do projeto que são responsabilidade dos projetistas, a restante informação é apresentada aos empreiteiros pela AC [28].

#### ***Fase de Construção (FC)***

Tipicamente, a AC concentra mais de metade dos seus esforços na FPP e na FPE, por uma razão muito simples: é mais barato e mais simples alterar ou resolver questões no papel do que após a sua instalação ou construção. Apesar deste facto, há tarefas que ainda devem ser cumpridas na FC. Durante esta fase, a EC verifica que os sistemas e as instalações estão a ser executados de acordo com os RDO. Por forma a concretizar o que atrás foi referido, utilizam-se estratégias de amostragem baseadas na qualidade para a verificação de cada tarefa e ensaio. As principais tarefas da FC encontram-se descritas na Tabela 10 [19] [28].

*Tabela 10 – Tarefas fundamentais da fase de construção [28], [29]*

<b>Fase de Construção (FC)</b>	a) Realizar reunião de pré-construção
	b) Verificar se a construção cumpre os objetivos
	c) Verificar as listas de controlo da construção e os testes funcionais
	d) Transição para o dono de obra
	e) Inspeção da formação

Qualquer decisão ou alteração tomadas durante a fase de construção implicam uma atualização dos RDO e da MD. Esta atualização é levada a cabo pela EC [28].

#### **a) Realizar reunião de pré-construção**

Até à FC a AC tem trabalhado em conjunto com o dono de obra e com os projetistas. Se é verdade que pode haver empreiteiros que estejam envolvidos no processo desde o dia um, por outro lado, outros só entrarão nesta fase e a sua integração na EC é fundamental. Quanto mais cedo isso acontecer, maior é o entendimento entre a EC e por conseguinte maior é a capacidade de lidar com os problemas quando estes surgirem [28].

Durante a reunião de pré-construção, toda a equipa deve rever os requisitos e os fundamentos do projeto. Define-se também a estratégia de comunicação entre os diferentes membros. Periodicamente, a AC supervisionará a coesão da equipa e a resolução de problemas durante a FC [28].

#### **b) Verificar se a construção cumpre os objetivos**

A AC avalia, periodicamente, o desenrolar da construção por meio de visitas ao local e documenta de forma clara e objetiva o progresso da obra bem como qualquer anomalia do processo. Anomalia essa que deve ser corrigida o mais cedo possível, sendo que num cenário onde isso não seja possível, devem ser levadas a cabo as alterações necessárias e exequíveis [28].

Para além do que foi mencionado anteriormente, a AC também é responsável por supervisionar as sessões de formação e verificar se os fundamentos do projeto e o manual dos sistemas vão ao encontro das expectativas criadas no início do processo [28].

#### **c) Verificar as listas de controlo da construção e os testes funcionais**

A AC tem a responsabilidade de verificar as listas de controlo da construção que os empreiteiros desenvolveram. O objetivo é procurar garantir que o equipamento é corretamente instalado e está apto a ser testado [7].

No caso de tudo estar em conformidade com as intenções do projeto, procede-se à realização dos testes de desempenho funcional. O desempenho dos equipamentos e sistemas é considerado aceitável quando os mesmos atingem parâmetros que estão especificados no projeto sob diferentes condições de operação, sejam elas a carga parcial ou a plena carga [7].

Nesta fase, a AC deve também procurar envolver, tanto quanto possível, os técnicos da operação no acompanhamento da verificação das listas de controlo da construção e no desenrolar dos testes funcionais [7].

#### **d) Transição para o dono de obra**

Para que o PC seja aplicado com sucesso é necessário que se verifique, continuamente, os RDO, durante as fases de pré-projeto, projeto e construção. Assim, as expectativas iniciais em relação à obra refletem-se, com maior probabilidade, na realidade atual do edifício [28].

Quando a instalação é testada como um todo, procede-se também à avaliação do PC em si e surgem duas opções [28]:

- Poucos problemas são encontrados e os RDO são atingidos, o que permite concluir que o PC foi bem aplicado;
- Muitos problemas são encontrados, revelando que o processo falhou no cumprimento dos requisitos. Neste caso, deve ser encontrada a origem do insucesso e garantir que não acontece o mesmo em projetos futuros.

Assumindo que nesta fase toda a documentação relativa aos sistemas está completa e foi aceite pela AC, devem ser realizados os testes de desempenho funcional a toda a instalação. Durante a realização destes testes deve haver a preocupação de cumprir com os RDO sobre os pontos de vista da eficiência energética e do conforto interior, sempre com a intenção de minimizar a manutenção exigida a curto e a longo prazo [28].

Após a conclusão dos testes de desempenho funcional, a AC tem de fornecer ao dono de obra um conjunto de informação que possibilite que este compreenda os sistemas do ponto de vista operacional e de manutenção. Esta informação é compilada naquilo que se designa por manuais dos sistemas e inclui [7]:

- Índice de todos os documentos do processo de comissionamento;
- Relatório do comissionamento;
- As intenções iniciais e finais do projeto;
- Documentos relativos aos procedimentos de construção;
- Descrição das capacidades e limitações dos sistemas;
- Procedimentos de operação em vários modos de funcionamento, incluindo em situações de emergência;
- Sequência de operações dos sistemas instalados com recurso a dados de controlo dos mesmos, como *set-points*, dados de calibração, etc.;
- Localização de todos os sensores de controlo e dos pontos de teste;
- Procedimentos sazonais de arranque e de encerramento dos sistemas;
- Esquemas de controlo;
- Recomendações e procedimentos de manutenção.

#### **e) Inspeção da formação**

A AC é responsável por determinar, junto dos responsáveis pelo projeto, dos empreiteiros e dos técnicos de operação e manutenção, qual o tipo de formação que estes necessitam. Em ocasião posterior, juntamente com o dono de obra, selecionam o tipo de formação, a sequência e a frequência com que será dada e o maior detalhe que poderá ou não vir a ter. [7]

#### ***Fase de Operação e Manutenção (FO&M)***

É inevitável que os sistemas, os equipamentos e os componentes tendam a funcionar em condições diferentes ao longo do tempo daquelas de que foram alvo aquando da sua instalação.

Para além disso, as necessidades e as exigências de quem usufrui das instalações também vão evoluindo. Somando estes fatores, fica evidente a importância da FO&M, que permite o ajuste contínuo, a otimização e até a modificação de sistemas por forma a atender aos requisitos [22].

O objetivo primordial desta fase passa por manter o desempenho do edifício durante todo o seu período de vida útil. Formalmente, o PC continua a ser aplicado durante o primeiro ano de operação, sendo que a filosofia inerente ao processo deve ser usada durante todo o ciclo de vida das instalações [22] [28].

Durante a FO&M devem ser realizadas as seguintes tarefas descritas na Tabela 11.

*Tabela 11 – Tarefas fundamentais da fase de operação e manutenção [28], [29]*

<b>Fase de Operação e Manutenção (FO&amp;M)</b>	a) Elaborar a documentação final
	b) Realização de testes periódicos e sazonais
	c) Verificação contínua dos objetivos e dos RDO
	d) Efetuar uma revisão dos períodos de garantia
	e) Melhoria contínua da qualidade

#### **a) Elaborar a documentação final**

O relatório final do comissionamento deve ser concluído nesta fase do processo e compila toda a informação obtida através das avaliações levadas a cabo pela AC para concluir se os RDO foram ou não devidamente cumpridos. Caso haja necessidade, devem ser registadas recomendações para resolver qualquer anomalia que tenha impedido de alcançar os objetivos do projeto [29].

Nesta fase de operação e manutenção, a AC deve procurar, mantendo o princípio que vem adotando desde o início do processo, verificar as instalações e os respetivos sistemas à luz das intenções e fundamentos, não do projeto, mas sim de operação. O termo “projeto” deixa de ser usado, e para que esta etapa seja concluída com sucesso é essencial que haja um controlo rigoroso sobre os documentos das intenções operacionais, dos fundamentos operacionais e dos manuais dos sistemas [28].

Como a AC esteve envolvida no processo desde o primeiro dia, é a entidade que em melhor posição se encontra para administrar formação para que os documentos sejam atualizados e consultados por todos os intervenientes, facilitando a resolução de eventuais problemas e otimizando a operação dos sistemas segundo as intenções operacionais [28].

Após o primeiro ano de operação das instalações, as visitas da AC passam a ser anuais ou semianuais e têm como objetivo verificar se toda a documentação está de acordo com a realidade e se está a ser devidamente utilizada [28].

#### **b) Realização de testes periódicos e sazonais**

Apesar de terem sido realizados testes, muitos equipamentos não foram testados com a precisão que se exige dentro de outros períodos do ano. Daí surge a necessidade de serem levados a cabo testes periódicos que adotam os mesmos procedimentos dos testes de desempenho funcional. Esses testes devem ser realizados durante as várias estações do ano que não foram contempladas nos testes preliminares [28].

A execução destes testes fornece uma avaliação periódica da instalação em relação aos valores de referência do projeto original ou em relação a novos valores de referência estabelecidos nas intenções operacionais [28].

#### **c) Efetuar uma revisão da garantia**

Tipicamente a garantia é de seis meses a um ano para a maioria dos equipamentos e respetivos componentes, sendo que para uma parte dos materiais a garantia pode até chegar aos 40 anos. É fundamental que todas as informações de garantia estejam devidamente clarificadas e documentadas nos manuais dos sistemas. O objetivo é não deixar expirar qualquer prazo de garantia sem que sejam realizados testes aos equipamentos para avaliar o seu desempenho [28].

Aproximadamente dez meses após o edifício ser ocupado, a AC deve fazer uma visita às instalações e reunir-se com o dono de obra para avaliar a operação dos sistemas e respetivos componentes e com isso identificar qualquer equipamento que deva ser reparado ou substituído. O processo de revisão da garantia engloba as seguintes tarefas [29]:

- Verificação da garantia dos sistemas;
- Marcação de uma visita ao local das infraestruturas;
- Reunir com os técnicos da operação e manutenção;
- Documentar as anomalias encontradas;
- Fornecer recomendações ao dono de obra e ao empreiteiro;
- Incluir o resultado final da intervenção no relatório final de comissionamento.

#### **d) Melhoria contínua da qualidade**

A partir do momento que o PC é baseado em princípios de qualidade, é necessário que a sua implementação seja continuamente melhorada e para isso há que tirar as devidas lições de projetos anteriores para que não se cometam os mesmos erros e para que o processo seja aplicado com sucesso. Para o efeito deve realizar-se, ao fim do primeiro ano de utilização do edifício, uma reunião entre os projetistas, os empreiteiros e a AC para aferir se as intenções operacionais ainda se encontram válidas e se existe alguma anomalia com os fundamentos operacionais tendo em vista os próximos doze meses de funcionamento. Estas reuniões devem ser anuais, sendo que nos anos subsequentes ao primeiro, os participantes delas devem ser representantes do dono de obra e utilizadores das instalações, sendo recomendável a presença de uma terceira parte para evitar que algum interveniente tente desviar as responsabilidades de si mesmo [28] [29].



É uma boa prática, principalmente sobre o ponto de vista do dono de obra, aplicar periodicamente o recomissionamento para garantir que os sistemas e equipamentos operam segundo critérios de desempenho que vão ao encontro das intenções do projeto [7].

### **3.2.2. Documentação do PC**

O objetivo de documentar o PC é o de registar “o quê, porquê e como” sobre todas as decisões durante o planeamento e execução do processo. A definição de comissionamento engloba a tarefa de documentação de forma contínua ao longo de todas as fases. A documentação procedente da aplicação do PC é considerada o mapa dos critérios de sucesso que devem ser cumpridos pelas instalações. No período pós-ocupação, os documentos que foram elaborados nas fases transatas serão uma referência, utilizada como garantia de correta manutenção do edifício [30].

Segundo a WBDG, existe um conjunto de documentos que devem ser desenvolvidos durante a aplicação de um PC comum. O registo sistemático das tarefas realizadas, dos resultados obtidos e das conclusões permite uma eficaz resolução dos problemas e uma otimização das estratégias operacionais, tornando bem visível, numa primeira instância, os benefícios do comissionamento. As tomadas de decisão são um processo iterativo durante todo o curso do projeto através da análise de opções, seleção de alternativas e aperfeiçoamento de técnicas, e cada decisão tem na documentação do comissionamento uma base para uma correta avaliação e aceitação [30].

A inclusão dos RDO, da MD, do P<sub>LC</sub> e do relatório final de comissionamento no grupo de documentos chave do PC, confere a estes uma importância acrescida neste domínio. Contudo, outros documentos são considerados muito importantes e devem também produzidos. Segue-se uma lista dos documentos que do PC devem resultar [30]:

- RDO;
- MD;
- P<sub>LC</sub>;
- Especificações do comissionamento;
- Comentários/observações sobre o projeto;
- Documentação de certificação;
- Comentários de aceitação;
- Relatórios de inspeção;
- Relatórios de testes de dados;
- Relatórios/registos de resolução de problemas;
- Manuais dos Sistemas;
- Documentação de treino e formação;
- Testes periódicos;
- Relatório final de comissionamento.

### ***Requisitos de projeto do dono de obra (RDO)***

Os requisitos de projeto exigidos pelo dono de obra contêm, fundamentalmente, os objetivos do projeto, os critérios de desempenho mensuráveis, estimativas de custos, valores de referência, critérios de sucesso e informação de apoio. Quando compilada toda esta informação, os RDO pode ser definido como um documento que detalha os requisitos funcionais de um projeto e as expectativas sobre como ele deve ser utilizado e conduzido [19].

A ASHRAE classifica os RDO como fazendo parte de uma etapa crucial em todo o PC. Estes requisitos resultam num documento que pode ser desenvolvido numa reunião abrangente que inclui o proprietário do edifício ou dono de obra, o pessoal da manutenção, a equipa de projetistas, a AC e outros participantes considerados relevantes para o processo. Contudo, é o dono de obra que tem de decidir sobre os critérios de sucesso do projeto [29].

O proprietário do edifício pode questionar – “O arquiteto ou o engenheiro não vão fazer isso, não vão definir os requisitos do projeto?”. A resposta é não. O que acontece na prática é que os projetistas irão auxiliar na definição do âmbito do projeto e no desenvolvimento de uma base para o mesmo, mas os critérios de sucesso do edifício têm de ser definidos pelo dono de obra. Não é suficiente esperar que os projetistas apliquem as normas de conforto ao edifício. Daí a carência de uma reunião em que se procure responder a todas as necessidades contemplando todos os pontos de vista. Os projetistas têm de perceber a linguagem adotada pelo proprietário, só assim é que o projeto pode cumprir da melhor forma o seu propósito [28].

Durante essas reuniões, é fundamental que se coloquem várias questões e o seu debate contribuirá significativamente para a elaboração dos requisitos de projeto na maior conformidade possível. Alguns exemplos dessas questões são [29]:

- Quais as áreas que são necessárias para a instalação ser funcional?
- Quais são as condições ideais de conforto para o edifício?
- Que atividades é que podem gerar poluentes no edifício?
- Como tornar estas instalações mais sustentáveis?
- O que se entende por eficiência energética?
- De que forma se avaliará o desempenho do edifício?
- Qual a documentação adequada para que a operação e a manutenção sejam as mais adequadas?
- Qual o nível de formação a ser instruído aos técnicos da manutenção e aos ocupantes?
- Quais são os problemas que ocorreram em projetos anteriores e que devem ser evitados?
- O que deve ser feito para que a aplicação do processo seja bem-sucedida?

Uma boa definição dos RDO e aplicação dos mesmos aos diversos equipamentos e sistemas implica decidir sobre cada um dos seguintes tópicos [19]:

- a) Orçamento de projeto incluindo a calendarização do mesmo;
- b) Âmbito e orçamento do PC;
- c) Requisitos dos documentos de projeto;
- d) Diretivas do dono de obra;
- e) Restrições e limitações dos sistemas;

- f) Requisitos do utilizador;
- g) Requisitos e horários de ocupação dos espaços;
- h) Requisitos para a formação do pessoal do dono de obra;
- i) Requisitos de garantia;
- j) Requisitos de otimização de valores de referência;
- k) Ferramentas de estatística e da qualidade;
- l) Critérios de condução e manutenção incluindo a tolerância admissível nessa mesma condução dos sistemas;
- m) Expectativas de manutenção para equipamentos e sistemas;
- n) Requisitos de qualidade para os materiais e construção;
- o) Eficiência energética;
- p) Objetivos de sustentabilidade ambiental;
- q) Flexibilidade dos sistemas;
- r) Requisitos de integração dos sistemas à luz dos regulamentos e das normas;
- s) Saúde, higiene e ambiente interior;
- t) Acústica e vibração;
- u) Acessibilidade aos equipamentos e sistemas;
- v) Segurança;
- w) Funcionalidade em relação à interface dos sistemas;
- x) Estética;
- y) Facilidade de construção e instalação;
- z) Comunicações e controlo dos sistemas.

No que diz respeito aos sistemas AVAC&R em particular, os requisitos enunciados atrás aplicam-se na sua totalidade. Uma breve explicação de cada um dos pontos supracitados é apresentada na secção D.1. do Anexo D.

Os RDO é o primeiro documento e, possivelmente, o mais importante sobre o ponto de vista do dono de obra e da AC com vista a assegurar que o PC converge relativamente às expectativas e objetivos previamente definidos. O dono de obra é quem desenvolve os requisitos e quem irá dar a aprovação final dos mesmos. A AC auxilia o dono de obra na identificação de requisitos da instalação em relação a questões sobre a eficiência energética, ambiente interior, formação dos técnicos e operação e manutenção [30].

Consulte-se a secção D.2. do Anexo D para tomar conhecimento de um índice de conteúdos do documento que descreva os requisitos exigidos para o empreendimento pelo dono de obra. Este índice deve ser visto como um bom exemplo, contendo o que se considera essencial num documento deste tipo.

### ***Memória Descritiva (MD)***

A memória descritiva deve mostrar de forma incremental como o projeto se desenvolve da FPP para a FPE e para a FC. É neste documento que se registam os cálculos, as decisões, a seleção de soluções e equipamentos, a sequência de operações e as normas seguidas. Este documento explica como se podem cumprir os RDO e assim assegurar um bom desempenho por parte do edifício. Contempla ainda descrições pormenorizadas e listas individuais de itens que

fundamentam o processo de conceção. Por ser normalmente desenvolvido pelos projetistas adota uma linguagem mais técnica, por exemplo em comparação com os RDO. [19], [30]

A MD deve conter [28]:

- Seleção de componentes: onde se indica o tipo de equipamento ou componente escolhido, o fabricante, o modelo e o tamanho bem como os motivos que conduziram a tais opções;
- Suposições: onde os projetistas definem vários parâmetros e assumem números específicos para os mesmos que ajudam na transição dos RDO para as características dos equipamentos que devem ser instalados;
- Códigos e normas utilizadas: onde estão identificadas as normas e os guias que foram adotados aquando da elaboração do projeto dos sistemas.

No que diz respeito aos sistemas AVAC&R em particular e para um conhecimento mais aprofundado sobre a informação que a MD deve incluir, propõe-se a consulta da secção E.1.do Anexo E.

Consultar a secção E.2. do Anexo F para tomar conhecimento de uma estrutura típica para um documento deste género.

### ***Plano de comissionamento (P<sub>L</sub>C)***

O P<sub>L</sub>C deve começar a desenvolver-se na FPP e é atualizado durante todo o projeto, sendo que inclui as atividades das fases de projeto de execução e de construção. Este documento define o âmbito das atividades de comissionamento, bem como as responsabilidades dos envolvidos, os horários e os procedimentos a efetuar [30].

O P<sub>L</sub>C inicial, desenvolvido na FPP, deve conter as seguintes informações [19]:

- Resumo do PC;
- Regras e responsabilidades da equipa de comissionamento, diferenciando as áreas em que cada membro está envolvido, com detalhe sobre as tarefas a realizar e as responsabilidades a cumprir por cada membro individualmente;
- Documentação dos canais de comunicação gerais (contacto telefónico, correio eletrónico, etc.) a utilizar, indicando claramente os procedimentos a serem tomados na fase subsequente;
- Descrição detalhada das atividades do PC durante a FPP e FPE incluindo a calendarização das mesmas;
- Descrição geral das atividades do PC das fases de construção, ocupação e condução;
- Guias e procedimentos sobre como desenvolver a documentação do PC;
- Canais de comunicação por forma a facilitar a comunicação entre os vários intervenientes no processo, tornando a revisão dos requisitos, a resolução dos problemas e a troca de documentação mais eficazes;
- Documentos do PC a utilizar na FPP e FPE que permitam respeitar a informação crítica sobre o PC;

- Listas de controlo da FPP necessárias aos sistemas, instalações e equipamentos que ajudam a definir as características expectáveis para a submissão da documentação na FPP;
- Listas de controlo da FPE que incluem as montagens e os sistemas fundamentais para o sucesso das instalações;
- Listas de controlo da construção que devem ser preenchidas pelo empreiteiro na FPE;
- Procedimentos de verificação dos documentos do projeto de execução;
- Procedimentos a adotar sempre que a verificação do PC não estiver em conformidade com os RDO;
- Procedimentos de amostragem baseados na qualidade para verificação que os RDO estão a ser cumpridos em todas as fases.

Consultando a secção F.1. do Anexo F é possível identificar a informação que deve ser atualizada durante as fases de projeto de execução e de construção e ainda o que deve constar no documento no caso particular dos sistemas AVAC&R.

Consultar a secção F.2. do Anexo F para tomar conhecimento de um índice de conteúdos de um P<sub>L</sub>C. Este índice deve ser visto como um bom exemplo, contendo o que se considera essencial num documento deste tipo.

### ***Manual dos Sistemas (MS)***

Este manual constitui um conjunto de documentos que incluem o manual de operação, o manual de manutenção e informação adicional que torne possível compreender, operar e manter os sistemas, principalmente a quem não esteve profundamente envolvido nas fases de construção e de operação e manutenção [19].

O MS deve incluir a seguinte informação genérica [19]:

- a) Índice do MS com informação sobre onde encontrar determinado conteúdo, especialmente se este não se encontrar no manual atual;
- b) Sumário executivo;
- c) RDO;
- d) Documentação relativa à MD;
- e) Documentos de registo de construção, de especificações e de aprovação;
- f) Uma lista de procedimentos recomendados para a operação dos sistemas, incluindo formulários, registos e uma justificação para cada ação;
- g) Guia de otimização contínua;
- h) Manuais de operação e manutenção que incluam procedimentos de operação para todos os modos de funcionamento, seja ele em regime normal, especial ou de emergência, procedimentos de manutenção, listas de acessórios recomendados, guia de soluções de avarias e ainda diagramas unifilares dos sistemas;
- i) Relatório do PC.

Na secção G.1. do Anexo G pode tomar-se conhecimento da informação que compõe a atualização do MS durante as fases de construção e de operação e manutenção. Neste mesmo anexo também se faz referência à informação que deve conter no que aos sistemas de AVAC&R concerne.

Na secção G.2. do Anexo G apresenta-se um exemplo de um formato que pode ser adotado para o desenvolvimento de um MS.

Atente-se no Anexo H para uma compreensão global do enquadramento dos vários documentos desenvolvidos ao longo das diferentes fases, bem como quais as entidades que requisitam, fornecem, aprovam e utilizam os mesmos.

### **3.3. O Processo de Retro Comissionamento**

Aplicar o comissionamento em edifícios já existentes que nunca antes foram comissionados implica que se adote uma sequência de processos que difere daquela que se deve implementar para edifícios ou sistemas considerados novos. Apesar dos procedimentos e das orientações que se devem tomar serem diferentes para ambos os casos, o principal objetivo é comum e consiste fundamentalmente em conciliar a existência de condições interiores saudáveis e de conforto com o mínimo de energia consumida, conservando assim o ambiente interior, contribuindo ainda para o aumento do ciclo de vida dos sistemas.

O proprietário de um edifício pode questionar-se sobre quando é que deverá aplicar o retro comissionamento e submeter assim as instalações e os sistemas ao processo. Muitos edifícios existentes caracterizam-se por um desempenho deficiente, contudo, nem sempre os proprietários se apercebem deste cenário. Enquanto os sistemas do edifício proporcionarem condições interiores razoavelmente confortáveis nada parecerá errado com o funcionamento dos mesmos. Infelizmente, só após falhas catastróficas ou realmente visíveis é que se coloca em causa o desempenho das instalações. Uma situação que pode exemplificar o que atrás se defende é quando, desnecessariamente, grandes quantidades de ar exterior entram no edifício, obrigando a uma utilização excessiva da energia para aquecimento ou arrefecimento dos espaços. Enquanto os sistemas de aquecimento e arrefecimento tiverem capacidade, o problema passará despercebido, pelo menos até ao aparecimento das respetivas faturas energéticas. Seguindo esta linha de raciocínio é possível anunciar um conjunto de problemas que impulsionam o aumento dos custos energéticos e que podem passar despercebidos [31]:

- Ajuste inadequado dos variadores de frequência;
- Horários de funcionamento que são contornados ou definidos de forma inadequada;
- Equipamentos que estão a funcionar com potências superiores às necessárias;
- Desempenho eficiente dos equipamentos mas conseguidos através de estratégias operacionais desajustadas;
- Sistemas de gestão de energia que nunca foram instalados ou programados, impossibilitando tirar partido das suas vantagens;

- Sistemas de gestão de energia degradados ao longo do tempo;
- Sistemas de controlo que estão mal calibrados ou com uma sequência de operação imprópria.

Os problemas supramencionados, bastante comuns, podem ter um efeito considerável sobre o consumo energético e o desempenho do edifício. O retro comissionamento procura identificar os problemas e corrigi-los, e ainda otimizar os sistemas para um funcionamento integrado. Por estes e outros motivos, o processo de retro comissionamento, PRC, tem a capacidade de fornecer retornos atraentes aos donos dos edifícios [31].

Para levar a cabo o PRC e retirar dele o máximo do seu potencial, é fundamental cumprir com as seguintes quatro fases [31]:

1. Fase de planeamento, FP: decidir sobre que sistemas devem ser avaliados e definir responsabilidades pelos intervenientes;
2. Fase de investigação, FI: clarificar como é que os sistemas devem operar, monitorizar e avaliar a operação e preparar uma lista de anomalias encontradas;
3. Fase de execução, FE: corrigir as anomalias operacionais por ordem de prioridade e garantir assim um adequado funcionamento;
4. Fase de transição, FT: documentar as melhorias efetuadas e indicar ao proprietário e operadores como manter o funcionamento adequado dos sistemas.

Durante as fases do PRC é possível encontrar tarefas que se assemelham àquelas que constituem o PC aplicado a novos edifícios e sistemas. Contudo, pelo facto do retro comissionamento se aplicar depois da construção, o seu foco incide sobretudo na utilização da energia por parte dos equipamentos, procurando a otimização do funcionamento independente destes e dos seus sistemas, mas também o funcionamento integrado dos mesmos sistemas. Geralmente não existe a preocupação de colocar o edifício a funcionar de acordo com o que foi projetado inicialmente, até porque na maioria dos casos a documentação original não existe, não se encontra disponível ou é irrelevante dado a sua discrepância relativamente ao funcionamento atual das instalações. A Tabela 12 pretende estabelecer uma comparação entre o que implica comissionar um edifício novo ou um edifício existente que nunca foi alvo de comissionamento.

Tabela 12 - Comissionamento vs Retro comissionamento [15], [31]

Comissionamento	Retro comissionamento
1. Fase de Pré-Projeto (FPP)	1. Fase de Planeamento (FP)
a) Definir os objetivos	a) Definir os objetivos
b) Contratar a AC	b) Contratar a AC
c) Desenvolver os RDO na FPP	c) Avaliar a informação contida na documentação existente
d) Desenvolver o P <sub>LC</sub>	d) Desenvolver um plano de retro comissionamento
e) Selecionar a EC	e) Atualizar documentação existente

continua

Tabela 12 – Comissionamento vs Retro comissionamento [15], [31]

conclusão	
Comissionamento	Retro comissionamento
<b>2. Fase de Projeto de Execução (FPE)</b>	<b>2. Fase de Investigação (FI)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Reuniões de discussão do comissionamento (se não ocorreu na FPP);</li> <li>b) Comissionamento focado na avaliação dos projetos</li> <li>c) Atualização do P<sub>L</sub>C</li> <li>d) Desenvolver requisitos do PC para inclusão nos documentos da construção</li> <li>e) Iniciar o desenvolvimento das listas de controlo da construção, dos testes de desempenho funcional, do MS e dos requisitos de formação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Realizar avaliação do local de obra</li> <li>b) Desenvolver documentação em falta</li> <li>c) Planear testes e executar diagnósticos de monitorização</li> <li>d) Executar testes de desempenho funcional e analisar resultados</li> <li>e) Desenvolver uma lista de anomalias e melhorias</li> <li>f) Recomendar as melhorias de baixo custo da implementação do PRC</li> </ul>
<b>3. Fase de Construção (FC)</b>	<b>3. Fase de Execução (FE)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Reuniões da FC</li> <li>b) Verificar os documentos de aceitação</li> <li>c) Atualizar os RDO e o P<sub>L</sub>C</li> <li>d) Levar a cabo os procedimentos detalhados dos testes de desempenho funcional</li> <li>e) Verificar o cumprimento dos RDO por parte dos sistemas</li> <li>f) Atualizar o MS</li> <li>g) Avaliar a formação dos técnicos de O&amp;M e dos ocupantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Desenvolver um plano de execução</li> <li>b) Implementar melhorias operacionais por ordem de prioridade e importância</li> <li>c) Analisar e avaliar resultados</li> <li>d) Avaliar e estimar a poupança energética resultante da aplicação do PRC</li> </ul>
<b>4. Fase de Operação e Manutenção (FO&amp;M)</b>	<b>4. Fase de Transição (FT)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Resolver questões pendentes do comissionamento das fases precedentes</li> <li>b) Realizar testes sazonais ou que não foram realizados anteriormente</li> <li>c) Efetuar uma avaliação dos equipamentos perto do final dos períodos de garantia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Desenvolver um relatório final</li> <li>b) Compilar o MS</li> <li>c) Desenvolver um plano de recomissionamento</li> <li>d) Administrar sessões de formação</li> <li>e) Efetuar reunião de conclusão do processo</li> <li>f) Implementar estratégias que permitam a persistência dos benefícios do processo</li> </ul>



O PRC foca-se essencialmente nos sistemas ativos e procura i) reduzir o desperdício de energia, ii) obter poupança energética e iii) identificar e solucionar problemas/anomalias [31].

De salientar que o PRC pode ver os seus objetivos reajustados, dependendo do rigor com que se pretende implementar e das necessidades e recursos que o proprietário tem ou dispõe [31].

De seguida apresentar-se-ão as quatro fases típicas da aplicação do PRC e as atividades chave que compõe cada delas. O cumprimento de todas as tarefas está sempre condicionado pela natureza do projeto, pelo orçamento disponível e pela experiência dos vários intervenientes no processo. De salientar que das quatro fases, a fase de planeamento é aquela que exige uma discussão mais detalhada porque envolve muita transferência de informação sobre o atual estado do edifício e é devido a um bom planeamento que a probabilidade de sucesso das fases seguintes aumenta significativamente [31].

### 3.3.1. Fases do Processo de Retro Comissionamento (PRC)

#### *Fase de Planeamento (FP)*

A FP fornece a orientação inicial para o desenvolvimento do projeto. A Tabela 13 apresenta as tarefas principais do processo nesta fase.

Tabela 13 – Tarefas fundamentais da fase de planeamento [31]

Fase de Planeamento (FP)	a) Desenvolver e transmitir os objetivos
	b) Escolher a equipa e contratar a AC
	c) Analisar e atualizar a documentação do edifício
	d) Desenvolvimento de um plano de retro comissionamento

#### **a) Desenvolver e transmitir os objetivos**

É necessário definir, documentar e transmitir de forma clara os objetivos pretendidos. Idealmente, esses objetivos devem estar listados por ordem de prioridade, estimando o custo-benefício que de cada um poderá provir. Os objetivos que podem constituir um processo desta natureza são [31]:

- Obter poupanças de energia de baixo custo;
- Atingir o desempenho energético ótimo e reduzir custos operacionais com recurso à identificação e recomendação de melhorias nas estratégias operacionais e nos procedimentos de manutenção;
- Identificar e solucionar questões relacionadas com a segurança e conforto traduzidos pelos sistemas AVAC;
- Obter informação para o desenvolvimento de um plano de orientação e organização do programa de gestão de energia;
- Eliminar os problemas relacionadas com o conforto interior e com a qualidade do ar;
- Aumentar significativamente o tempo de vida dos equipamentos;

- Reduzir o tempo despendido na resolução de problemas;
- Proporcionar melhores condições e competências aos técnicos da operação e manutenção;
- Atualizar a documentação do edifício;
- Efetuar uma avaliação de *benchmarking* do estado operacional dos sistemas e dos equipamentos.

#### **b) Escolher a equipa e contratar a AC**

A EC é responsável por atingir os objetivos previamente definidos para o projeto. Nesta fase a composição da equipa passa pelo proprietário do edifício e os seus representantes, pelo empreiteiro e pela AC. A AC deve trazer consigo a capacidade de resolução de problemas, avaliação de diagnósticos, realização de testes e perícia para identificar questões óbvias mas que se encontram ocultas e que devem ser resolvidas para que se possam atingir os requisitos impostos [31].

#### **c) Analisar e atualizar a documentação do edifício**

Nesta fase a AC tem a responsabilidade de avaliar toda a documentação existente do edifício. Esta entidade irá solicitar aos técnicos responsáveis pelo funcionamento e manutenção do edifício informação contida nos seguintes documentos [32]:

- Telas finais;
- Lista de equipamentos instalados e respetivas especificações;
- Manuais de operação e manutenção bem como relatórios de testes de desempenho funcional;
- Sequência de operações e esquemas de controlo;
- Manuais de formação;
- Relatórios ou estudos prévios de engenharia;
- Histórico de alterações e planos futuros;
- Histórico dos registos de procura da manutenção;
- Capacidade do sistema de gestão centralizada e histórico de reparações;
- Registo das queixas relativas ao conforto;
- Requisitos funcionais exigidos para as instalações.

Sempre que entender necessário, a AC deve atualizar a documentação por forma a ter todos os elementos sobre as instalações completos. Uma vez completa a documentação, esta servirá de suporte para uma ágil resolução dos problemas, tornando a tarefa mais rápida e económica [31].

#### **d) Desenvolvimento de um plano de retro comissionamento**

O plano de retro comissionamento é da responsabilidade da AC que deve procurar junto do proprietário e dos técnicos do edifício informação relevante. É com base na partilha de informação durante as reuniões iniciais que se irá desenvolver um plano que pretende resumir

os objetivos mais importantes para o projeto. Esse plano também deve ser capaz de refletir os desejos específicos do proprietário e dos operadores para o funcionamento e manutenção do edifício, desejos esses que irão guiar o PRC [32].

O plano deve conter [31] [32]:

- Informação geral das instalações – descrição geral do local, resumos das atividades que tomarão parte ativa durante a fase de investigação e informação relativa à equipa de comissionamento;
- Objetivos e âmbito do projeto;
- Breve descrição do edifício e dos sistemas – inclui histórico de operação e manutenção do edifício, descrição detalhada do edifício e dos sistemas a serem comissionados, função do edifício, ano de fabrico e datas de remodelações ou alterações de funcionalidades, área útil dos espaços, controlos dos sistemas e prioridades de investigação;
- Tarefas e responsabilidades dos intervenientes no processo;
- Calendarização das tarefas iniciais;
- Documentação existente e atualizada;
- Descrição do processo a implementar – fases de planeamento, investigação, execução e transição.

O desenvolvimento deste plano é contínuo. Apesar do seu início ser na FP, nas fases posteriores pode e deve ser alvo de atualização em conformidade com as tarefas já executadas e a realizar [31].

Após a conclusão desta fase de planeamento, é expectável que dela resultem a documentação enunciada na Tabela 14.

*Tabela 14 - Documentação concluída no final da fase de planeamento [31]*

Documentação e informação resultante
<ul style="list-style-type: none"><li>• Plano de retro comissionamento</li><li>• Atas das reuniões preliminares</li></ul>

### ***Fase de Investigação (FI)***

A FI é caracterizada pela compreensão do funcionamento e da manutenção dos sistemas, pela identificação das anomalias e potenciais melhorias e pela seleção das correções mais rentáveis do ponto de vista do custo-benefício. É a fase do PRC que é mais demorada e que incorre em maiores custos. As tarefas fundamentais a desenvolver nesta fase estão descritas na Tabela 15.

Tabela 15 – Tarefas fundamentais da fase de investigação [31]

Fase de Investigação (FI)	a) Execução de uma avaliação no local
	b) Desenvolver uma lista de anomalias e potenciais melhorias
	c) Planear e executar diagnósticos de monitorização e testes de desempenho funcional
	d) Recomendar melhorias de baixo custo provenientes do PRC

#### a) Execução de uma avaliação no local

É fundamental realizar uma avaliação no local com o objetivo de compreender totalmente como é que os sistemas e os equipamentos operam e são alvos de manutenção, porque é que eles operam de determinada forma e quais as anomalias mais relevantes que são indicadas pelos técnicos e ocupantes. Essa avaliação, genericamente, passa por [31] [32]:

- Investigação profunda que engloba compreender como o edifício deve operar, conhecer os sistemas alvo e a forma como eles interagem de forma integrada, avaliar se os sistemas de controlo operam de forma eficiente, compreender o estado dos equipamentos, colecionar informação suficiente para redigir um plano de diagnóstico de monitorização e um plano de testes;
- Consumo e procura globais de energia do edifício e respetivas áreas de maior consumo e procura;
- Reuniões com os técnicos de operação e manutenção para tomar consciência das necessidades atuais e dos desafios relacionados com a operação e manutenção dos sistemas;
- Especificações, intenções operacionais e sequências de controlo de cada equipamento presentes no projeto atual;
- Informação sobre o estado atual dos equipamentos baseada, praticamente, na observação direta do estado de ventiladores, grelhas e outras superfícies que incorrem em riscos de contaminação, facilidade de manutenção de filtros, correias, válvulas, condutas, conexões, isolamentos, na condição física dos equipamentos ao nível da corrosão, desgaste, etc., na existência de fugas de ar ou de água, na presença de ruídos ou odores estranhos que os equipamentos possam emanar, nos níveis de controlo e de iluminação, etc.;
- Compreensão dos requisitos atuais das instalações, que devem indicar, genericamente, informação sobre a ocupação e finalidade atual do espaço, registos sobre mudanças quanto ao propósito de utilização do espaço, documentação de alterações dos sistemas AVAC, requisitos climáticos interiores atualmente exigidos, requisitos sobre classificação e sustentabilidade do edifício, informação sobre horários de funcionamento dos sistemas, condições sobre energia e eficiência e outras questões relacionadas com a operação e manutenção;
- Problemas de controlo e operacionais mais graves;
- Localização no edifício dos locais com maiores problemas associados ao conforto;
- Analisar a faturação do consumo energético do edifício, que para uma análise ideal de *benchmarking* deve remontar aos dois anos anteriores ao atual.

#### **b) Desenvolver uma lista de anomalias e potenciais melhorias**

Durante a execução da avaliação das infraestruturas, a AC deve iniciar a realização de uma lista das deficiências encontradas e das potenciais melhorias que podem ser implementadas. Esta lista é considerada uma importante ferramenta na tomada de decisão, até em relação a projetos futuros, e está em constante atualização até à FE. A AC deve caracterizar cada anomalia num de quatro tipos diferentes de problema: manutenção, operação, projeto ou instalação. Esta inclusão da anomalia num destes tipos permite que se obtenha uma maior perceção sobre em que setor os custos de reparação serão mais elevados e onde se deve implementar melhorias, em última análise, em projetos futuros. Por exemplo, registaram-se problemas, maioritariamente, na categoria da instalação, o que permite concluir que é fundamental que haja um maior esforço no futuro para aplicar o PC na nova construção ou nos novos equipamentos instalados [31].

#### **c) Planear e executar diagnósticos de monitorização e testes de desempenho funcional**

Após a avaliação de diversos fatores e situações, e de se terem identificadas várias necessidades de intervenção, urge-se o desenvolvimento de diagnósticos de monitorização e um plano de testes por forma a completar toda a informação relativa a um determinado sistema ou equipamento e concluir, claramente, sobre a se o sistema está a operar corretamente e da maneira mais eficiente [31].

Há três tipos de diagnósticos típicos, o diagnóstico de tendência de dados fornecido pela GTC, o diagnóstico baseado num armazenador portátil de dados e o diagnóstico resultante de testes de desempenho funcional. Usando os dados fornecidos pela GTC é preciso garantir que os sensores instalados estão devidamente calibrados e instalados em pontos de medição que são úteis para a análise dos dados. Quando o edifício não é dotado de uma GTC ou quando os sensores estão localizados em pontos que podem limitar a avaliação dos dados, instalam-se sensores portáteis. Esta situação é ideal para monitorizações de curto prazo. A terceira situação decorre da necessidade de compreender o funcionamento de determinado sistema ou equipamento em situações que habitualmente não acontecem durante o funcionamento corrente das instalações. Os testes conseguem simular essas condições especiais [31].

Os pontos que devem ser monitorizados devem ser criteriosamente selecionados. Deve ter-se em linha de conta as seguintes condicionantes [32]:

- Uso de energia relativa do sistema, o que afeta diretamente o potencial de poupança de energia;
- Número de ocupantes ou dimensão da área afetada;
- Histórico de problemas conhecidos de funcionamento e/ou manutenção;
- Histórico de reclamações sobre conforto e qualidade do ar interior;
- Conformidade com os códigos e normas;
- Preocupações particulares com a saúde dos ocupantes.

Após a realização do diagnóstico às monitorizações e dos testes, deve registar-se os resultados na lista de anomalias e potenciais melhorias.

#### **d) Recomendar melhorias de baixo custo provenientes do PRC**

Após a identificação das anomalias e deficiências no funcionamento e manutenção dos sistemas, há que decidir sobre que sistemas podem proporcionar o máximo de poupança após intervenção. O ideal será procurar resolver todas as questões assinaladas na lista de anomalias, contudo, face à possibilidade de incapacidade para solucionar tudo, pelo menos no imediato, é importante priorizar as melhorias de acordo com a relação custo-poupança. Cabe à AC efetuar essa avaliação e consequente priorização. [31]

Após a conclusão da fase de investigação é expectável que dela resultem a documentação enunciada na Tabela 16.

*Tabela 16 - Documentação concluída no final da fase de investigação [31]*

Documentação e informação resultante
<ul style="list-style-type: none"><li>• Documento completo da avaliação do local</li><li>• Diagnósticos de monitorização e planos de testes funcionais</li><li>• Lista de deficiências e potenciais melhorias</li><li>• Lista de melhorias a aplicar de imediato, juntamente com os custos e retorno associados</li></ul>

#### ***Fase de Execução (FE)***

Ao passo que, durante a FI foram reparadas as questões mais simples, mais óbvias e menos dispendiosas, durante a FE leva-se a cabo a resolução das questões mais complexas e aquelas que acarretam maiores custos. Para além da resolução dos problemas, nesta fase também se procede à discussão da aplicação de melhorias e à verificação dos resultados obtidos [31].

Na Tabela 17 pode-se observar as tarefas que compõe a FE e que consistem, acima de tudo, em implementar as melhorias mais significativas e em analisar e avaliar os resultados obtidos.

*Tabela 17 - Tarefas fundamentais da fase de execução [31]*

Fase de Execução, FE	a) Implementar melhorias
	b) Analisar e avaliar resultados

#### **a) Implementar melhorias**

A implementação de medidas corretivas, essencialmente as que acarretam uma maior poupança e maiores benefícios, é considerado o principal objetivo da implementação do PRC. Aliás, sem estas medidas corretivas o PRC permanece incompleto. As ações são levadas a cabo pelos técnicos de operação e manutenção do edifício, quando estes possuem capacidades para tal, ou por entidades independentes. Contudo, é fundamental que a AC supervise todas as ações, pois a AC possui um conhecimento mais aprofundado sobre os sistemas e uma experiência mais alargada, sendo uma mais-valia na poupança de tempo e na redução de custos [31].

#### **b) Analisar e avaliar resultados**

Após a implementação das melhorias e das correções previstas é necessário proceder a novos testes de desempenho para confirmar os benefícios expectáveis. Os resultados obtidos nesta fase devem ser comparados com os testes executados na FI e devem ainda ser sujeitos a uma análise de *benchmarking*. A realização de novos testes e monitorização permite ainda que se estime, agora de forma mais precisa, a poupança energética que resultará da aplicação do processo [31].

Após a conclusão da fase de execução é expectável que dela resultem a documentação enunciada na Tabela 18.

*Tabela 18 - Documentação concluída no final da fase de execução [31]*

<b>Documentação e informação resultante</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Registo de todas as melhorias e reparações efetuadas</li><li>• Documentação sobre valores estimados de poupança energética provenientes de testes e avaliações finais</li></ul>

#### ***Fase de Transição (FT)***

Embora seja a última fase do processo, não deve ser encarada como o finalizar dos esforços para manter os efeitos do retro comissionamento. Aliás, é nesta fase que se definem as recomendações e os procedimentos que devem ser integrados na operação e manutenção e no programa de gestão de energia do edifício durante a sua vida útil e que permitem que se obtenha o máximo de benefícios da aplicação do PRC [31].

Analisando a Tabela 19 é possível concluir sobre as principais tarefas a levar a cabo na FT.

Tabela 19 - Tarefas fundamentais da fase de transição [31]

Fase de Transição (FT)	a) Elaboração do relatório final
	b) Manter os benefícios do investimento
	c) Reunião de encerramento do projeto

#### **a) Elaboração do relatório final**

A elaboração do relatório final pretende compilar toda a informação e documentação sobre o trabalho que foi desenvolvido durante todas as fases precedentes à FT. Um relatório final típico inclui [31]:

- Sumário executivo;
- Análise das principais conclusões e resultados obtidos;
- Descrição dos sistemas e do edifício;
- Âmbito do projeto de retro comissionamento;
- Lista de melhorias implementadas, incluindo necessidades de formação e recomendações de ações de manutenção e informações de custos e poupanças obtidas;
- Plano de retro comissionamento original com as respetivas atualizações efetuadas ao longo do processo;
- Planos e resultados da monitorização e respetivos diagnósticos;
- Todos os testes de desempenho funcional e os consequentes resultados.

Juntamente com o relatório final deve ser desenvolvida uma lista que recomende estratégias e medidas que visam poupanças energéticas que se possam obter no futuro, quando surgir a oportunidade e a capacidade de investimento para as colocar em prática.

#### **b) Manter os benefícios do investimento**

É importante que sejam desenvolvidas estratégias que perdurem os efeitos benéficos da aplicação do conceito de comissionamento. Devem ser concebidos um conjunto de procedimentos de recomissionamento, métodos de acompanhamento de resultados e formação contínua dos operadores [31].

#### **c) Reunião de encerramento do projeto**

Após a conclusão do relatório final e da entrega deste ao proprietário do edifício para análise, é aconselhável a realização de uma reunião para discutir o que funcionou ou não e sobretudo para registar todos os ensinamentos que se retiraram da aplicação do processo e que devem ou não ser implementados em futuras aplicações do retro comissionamento. A verificação e aceitação do relatório final por parte do proprietário encerra a FT [31].



Após a conclusão da fase de transição é expectável que dela resultem a documentação enunciada na Tabela 20.

*Tabela 20 - Documentação concluída no final da fase de transição [31]*

Documentação e informação resultante
<ul style="list-style-type: none"><li>• Relatório final de retro comissionamento</li><li>• Documentos que recomendem futuros investimentos</li><li>• Atualização final da documentação do edifício</li><li>• Plano de recomissionamento</li></ul>

### **3.4. Os intervenientes e as suas responsabilidades**

Qualquer projeto que recorre ao comissionamento deve principiar com uma reunião onde é fundamental a presença de toda a equipa. Esse encontro serve não só para descrever o PC, discutir o seu âmbito e agendar as atividades bem como para atribuir tarefas e definir as responsabilidades de cada elemento da equipa [7].

A EC é composta, genericamente, pelos seguintes membros [7]:

- a) Dono de obra;
- b) Autoridade de comissionamento, AC, ou comissionador;
- c) Projetistas de diversas especialidades;
- d) Empreiteiros;
- e) Técnicos de operação e manutenção ou responsáveis pelas instalações;
- f) Técnicos especializados em várias áreas;
- g) Representante dos utilizadores.

Tendo em conta todo o processo de comissionamento e a sua aplicação de uma forma geral, é possível distinguir as diferentes responsabilidades de cada interveniente ou de cada equipa de atuação. No Anexo I estão apresentadas um conjunto de funções que seriam atribuídas a cada elemento da EC numa situação ideal, contudo, é importante que se compreenda que nem sempre é possível seguir na totalidade essas recomendações, principalmente por razões de orçamento mas também devido a outras particularidades de cada projeto. Nessas situações compete ao dono de obra e à AC acordar sobre como e a quem distribuir as tarefas remanescentes [7].



## Capítulo 4 – Caso prático

---

Neste capítulo dá-se início à abordagem prática da presente dissertação. Numa fase inicial é importante tomar consciência sobre os objetivos propostos para as escolas destinadas ao ensino secundário com a implementação do plano atual de modernização, bem como compreender as orientações que os manuais de projeto fornecem, com o natural destaque para os sistemas de AVAC devido ao peso relativo que têm nos consumos energéticos.

Seguir-se-á uma secção em que o objetivo primordial passa por perceber a realidade atual dos 5 casos de estudo. Será compilado um conjunto de dados sobre documentação e informação existente sobre vários aspetos relacionados com a conceção, operação e manutenção de cada escola.

Posteriormente, cada caso será submetido a uma análise que se dividirá, fundamentalmente, em duas perspetivas semelhantes, mas que permitirão dar resposta a duas questões capitais:

- Qual o potencial de poupança se o edifício tivesse sido alvo de comissionamento inicial?
- O edifício é um bom candidato a receber o processo de retro comissionamento?

A resposta a estas questões permitirá compreender, extrapolando para um panorama global, a situação atual das escolas de ensino secundário. A ideia essencial é poder adotar um método de análise que se aplique a qualquer escola e que permita concluir sobre o potencial de poupança de cada estabelecimento de ensino.

### **4.1. O PMEES – Intenções e orientações**

#### **4.1.1. Objetivos do Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário (PMEES)**

O Programa de Modernização das escolas destinadas ao Ensino Secundário (PMEES), a cargo da Parque Escolar EPE, assenta em princípios de exigência de qualidade, procurando colocar o ensino português como potencial referência internacional.

Com a modernização dos espaços escolares pretende-se dar resposta aos novos paradigmas educativos e ambientais, oferecendo [33]:

- Espaços atrativos capazes de proporcionarem bem-estar e garantir as condições essenciais a uma boa prática pedagógica;
- Espaços flexíveis capazes de se adaptarem no tempo à evolução das solicitações e das novas tecnologias de informação e comunicação, mediante alterações pouco dispendiosas;
- Espaços multifuncionais capazes de possibilitar uma utilização variada alargada à comunidade;
- Espaços seguros, acessíveis e inclusivos permitindo a utilização alargada a pessoas com mobilidade condicionada e necessidades educativas especiais;
- Soluções duradouras em termos físicos, ambientais e funcionais, de modo a garantir baixos custos de gestão e de manutenção.

No que há térmica e eficiência energética diz respeito, tem-se em linha de conta que os sistemas e equipamentos deverão ter o menor consumo energético possível. A escolha dos sistemas, equipamentos e a sua gestão deve seguir critérios onde a eficiência energética seja maximizada prioritariamente. Os custos reais de manutenção/exploração deverão ser reduzidos assim com as inerentes emissões de GEE e a contribuição para o aquecimento global que põe em risco a sustentabilidade [33].

#### **4.1.2. Orientações do Manual de Projeto – Sistemas AVAC**

O Manual de Projeto das instalações técnicas desempenha um papel fundamental na medida em que fornece as orientações necessárias para otimizar todo o processo de conceção, exploração e manutenção. De facto, as instalações técnicas desempenham um papel muito importante na qualidade de exploração dos edifícios escolares e por isso devem ser concebidas e dimensionadas com base em critérios rigorosos, procurando um concílio harmonioso entre os regulamentos em vigor e a integração no ambiente espacial definido pela arquitetura. [33]

Consideram-se os seguintes tópicos como objetivos principais [33]:

- Segurança e fiabilidade das instalações em termos de exploração e manutenção;
- Flexibilidade e durabilidade das instalações no tempo;
- Flexibilidade e adequação das instalações às condições de exploração de cada local;
- Redução dos consumos de energia com foco na seleção criteriosa dos equipamentos de AVAC;
- Obtenção de níveis de conforto adequados à escola aliados à maximização da eficiência energética do edifício.

Atendendo às especificações e requisitos relativos aos espaços de uma escola típica a tratar, e tendo em conta que estes são completamente diferentes no que às funções e horários de funcionamento diz respeito, de forma a otimizar a poupança energética e a eficiência dos sistemas a instalar optou-se por soluções de climatização com produção térmica descentralizada, por sistemas dedicados por espaço (ou grupos de espaço) com a mesma função e horário.

Analisando a Tabela 21 é possível verificar o tratamento preconizado para os diversos espaços bem como as respetivas soluções adotadas.

Tabela 21 - Tratamento e soluções para os diferentes espaços escolares [33]

Espaço	Tratamento	Solução
Espaços letivos	A+ e V	Aquecimento por radiadores e termoventilação para o ar novo, ou sistemas do tipo VRF com unidades interiores com recuperação de calor e bateria de <i>freon</i> no caso de estes possuírem arrefecimento
Ginásio e polidesportivos	VN	
Balneários	A+ e V	Aquecimento e ventilação ou termoventilação (não se deve utilizar sistema de pavimento radiantes)
Locais administrativos	A+, A- e V	Sistema do tipo VRF com ou sem recuperação de calor e introdução de ar novo tratado e extração, ou <i>chiller</i> bomba de calor, <i>fan-coil</i> a dois tubos e UTA's para ar novo e extração
Anfiteatros, auditórios e espaços polivalentes	A+, A- e V	<i>Roof-top</i> independente por espaço com ou sem recuperação de calor, ou sistemas VRF com unidades interiores com recuperação, dependendo dos volumes a tratar.
Bibliotecas/Centro de recursos	A+, A- e V	<i>Roof-top</i> independente por espaço com ou sem recuperação de calor, ou sistemas VRF com unidades interiores com recuperação, dependendo dos volumes a tratar.
Refeitórios/Bar	A+ e V	
Cozinhas	A+, A-, V e D	Sistema independente com insuflação de ar tratado e extração por <i>Hotte</i> ou teto ventilado
Zonas de circulação	VN (e A+)	
Sanitários, arrumos e etc.	V	

A+ (aquecimento); A- (arrefecimento); V (ventilação); VN (ventilação natural); D (desenfumagem)

De referir ainda que o projeto de AVAC deverá incluir um sistema de Gestão Técnica que centralize todas as instalações, sistema que pode vir a ser introduzido num eventual Sistema Geral de Gestão das Instalações da escola [33].

## 4.2. Casos de estudo

Foram alvo de estudo e análise 5 casos: cinco escolas secundárias situadas na região Norte de Portugal que representam diferentes períodos de construção no âmbito do atual PMEES. A Tabela 22 apresenta informação sobre as escolas que será relevante para a análise a efetuar posteriormente.

*Tabela 22 - Área e período de construção para cada escola*

Caso	Área bruta de construção (aproximada) [m <sup>2</sup> ]	Período de projeto e construção
I	13.100	2007-2009
II	14.500	2008-2010
III	15.300	2008-2010
IV	16.200	2009-2011
V	7.500	2009-2011

### 4.2.1. Documentação e Investigação (D&I)

Por forma a tornar possível a análise que se pretende efetuar, submetendo cada um dos casos práticos a uma avaliação, é imperioso fazer um levantamento de toda a documentação e informação que ao longo dos anos se desenvolveu, desde o período de conceção até à exploração e manutenção atual das instalações. O PMEES definiu uma estrutura base para a compilação técnica da obra, e é com base nessa estrutura que se desenvolveu a Tabela 23. Definiu-se que a compilação técnica deveria incluir informação sobre os seguintes aspetos gerais:

- Identificação do empreendimento;
- Caracterização do empreendimento;
- Instalações Técnicas Especiais;
- Mobiliário e Equipamento Fixo e Móvel;
- Outros documentos de apoio;
- Segurança.

A Tabela 23 aprofunda cada um dos aspetos supramencionados. A cada caso de estudo corresponde uma numeração (de I a V) e preencheu-se a tabela de acordo com os dados que foram possíveis apurar.

Tabela 23 - Compilação técnica - panorama atual dos casos de estudo

	Casos de Estudo				
	I	II	III	IV	V
<b>Identificação do empreendimento</b>	<b>Inc.</b>	<b>Inc.</b>	<b>✓</b>	<b>Inc.</b>	<b>✓</b>
1. Objetivos e âmbito	✓	✓	✓	✓	✓
2. Intervenientes	✓	✓	✓	✓	✓
3. Organograma Funcional	✗	✗	✓	✓	✓
4. Regulamentação aplicável e documentos base	✓	✓	✓	✓	✓
5. Organização da compilação técnica	✗	✓	✓	✓	✓
6. Auto de receção provisória	✗	✗	✓	✗	✓
<b>Caracterização do empreendimento</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>
1. Caracterização geral	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Geologia e geotecnia (trabalhos preliminares e demolições)</i>		•	•	•	•
<i>Plantas Gerais</i>	•	•	•	•	•
<i>Planta de localização do edifício</i>					
<i>Plantas gerais do edifício (movimentos de terras, arruamentos, redes de infraestruturas, muros de suporte, vedação e outras construções exteriores)</i>					
2. Arquitetura e Construção Civil	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Arquitetura (plantas cotadas, cortes gerais e de pormenorização, alçados, mapas de vãos e de acabamentos, manual de operação e manutenção dos acabamentos e revestimentos e espaços confinados)</i>	•	•	•	•	•
<i>Arquitetura paisagista</i>		•	•	•	•
<i>Estruturas</i>	•	•	•	•	•
<i>Escavação e contenção periférica</i>					
<i>Condicionamento acústico e comportamento térmico</i>			•	•	•
<b>Instalações Técnicas Especiais</b>	<b>Inc.</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>
1. Instalações e equipamentos de águas e esgotos	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Rede Água Potável</i>		•	•	•	•
<i>Rede Água Quente</i>	•	•	•	•	•
<i>Rede Água Combate Incêndio</i>		•	•	•	•
<i>Rede de Águas Pluviais</i>	•	•	•	•	•
<i>Rede de Esgotos</i>		•	•	•	•
2. Instalações, equipamentos e sistemas elétricos	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Geração de Energia</i>	•	•	•	•	•
<i>Sistema de Proteção</i>	•	•	•	•	•
<i>Rede Elétrica</i>	•	•	•	•	•
<i>Rede Iluminação Normal/Emergência/Exterior</i>					
<i>Rede Tomadas Normal/Emergência/Ininterrupta</i>					

continua

Tabela 23 – Compilação técnica - panorama atual dos casos de estudo

conclusão					
	I	II	III	IV	V
<i>Rede Distribuição Normal/Emergência/Ininterrupta</i>					
<i>Rede de Gás</i>		●	●	●	●
3. Instalações AVAC	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Produção Energia Térmica</i>	●	●	●	●	●
<i>Chiller</i>					
<i>Caldeira</i>					
<i>Bomba de Calor</i>					
<i>Sistema de Climatização</i>					
<i>Sistema de Ventilação</i>					
<i>Sistema de Desenfumagem</i>					
4. Equipamentos Eletromecânicos	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Ascensores</i>	●	●	●	●	●
<i>Monta-pratos</i>				●	●
<i>Cadeiras-Elevador de Escada</i>					
5. Segurança contra Risco Incêndio/Intrusão	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Passiva (compartimentação ao fogo, vias de evacuação e acessibilidades dos bombeiros)</i>				●	●
<i>Ativa (SADI, extinção automática, meios de combate, sistemas de deteção de gases, SADIR, CCTV)</i>	●	●	●	●	●
6. Sistemas de GTC	✗	✓	✓	✓	✓
7. Instalações e equipamentos de produção de energia renovável	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Painéis solares</i>	●		●	●	●
<i>Painéis fotovoltaicos</i>		●			
<b>Mobiliário e Equipamento Fixo e Móvel</b>	Inc.	Inc.	✓	✓	✓
<b>Outros Documentos de apoio</b>	✗	✗	✓	✓	✓
1. Listas de Alterações ao Projeto	✗	✗	✓	✓	✓
<b>Segurança</b>	Inc.	✓	✓	✓	✓
1. Documentos de Segurança na Fase de Obra	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Livro de Registos de Obra</i>	●	●	●	●	●
<i>Atas de reuniões</i>	●		●	●	●
<i>Registo de controlo de sinistralidade durante a execução da obra</i>	●		●	●	●
2. Manual Segurança para Utilização da Escola	✗	✓	✓	✓	✓

**Legenda:**

- ✓ Informação existente e acessível
- ✗ Informação inexistente ou inacessível
- Inc. Aspeto geral com informação incompleta
- Informação existente mais detalhada
- Informação muito particular inexistente
- Informação muito particular existente



É importante mencionar que o preenchimento da Tabela 23 foi executado tendo por base toda a informação que foi possível reunir no local ou por via informatizada. Foram analisadas cerca de 3600 peças escritas e desenhadas (numa média de 410 peças escritas e 307 peças desenhadas em cada um dos 5 casos). Por exemplo, no caso I não foi possível tomar conhecimento de qualquer documento que incluísse listas de alterações ao projeto, como tal, marcou-se esse item com um (X). O que não implica, obrigatoriamente, que não tenha sido elaborado esse documento ou outro com o mesmo propósito, mas para a avaliação em questão também é fundamental perceber o quão acessível ou disponível a informação pode ou não estar. E o facto de não estar acessível/disponível é considerado um fator negativo para a análise em causa, contribuindo desfavoravelmente para a avaliação da escola em particular.

Numa primeira análise pode verificar-se que o caso I é o mais crítico no que à disponibilização de informação e documentação diz respeito. Já os casos IV e V são os que apresentam uma maior quantidade de informação, mais detalhada e organizada, como tal, informação que se pode considerar de maior qualidade. Pode então concluir-se que existiu um esforço no sentido de melhorar a quantidade e qualidade de informação documentada ao longo dos diferentes períodos de construção. Contudo, mesmo nos casos onde há mais e melhor informação, há uma nítida ausência de documentos e registos que se consideram vitais para que se possa tirar o maior partido da operação e efetuar uma correta manutenção, otimizando todos os procedimentos inerentes.

A ausência de informação relativa a testes de desempenho funcional e testes sazonais aos equipamentos de maior relevância no que ao consumo energético concerne é algo que é comum entre os objetos de estudo. Registos de sessões de formação também não se encontram, à exceção do caso IV que se preocupa com este aspeto registando sessões de formação no que à utilização da GTC diz respeito, mas nem neste caso a formação foi completa, faltando tratar a melhor abordagem a outros sistemas, como o elétrico e o mecânico. A receção de equipamentos também não é efetuada de forma clara, sabendo inclusive que no caso II a fase de transição de obra foi quase como que esquecida, ao ponto dos sistemas estarem prontos para serem controlados pela GTC e não existir *hardware* que faça a leitura e armazenamento dos dados bem como o controlo dos equipamentos. Ainda no caso II, afetado pela fase de transição de obra, só em 2015 é que foram postos a funcionar equipamentos que não se encontravam em funcionamento praticamente desde o ano de conclusão de construção (2010 neste caso particular).

Verifica-se que outro tipo de documentos e informação também não se encontram disponíveis. As telas finais, em muitos casos, não estão de acordo com a situação atual dos espaços, o que leva a concluir que não se registou as alterações efetuadas durante e após o período de construção. Os planos de manutenção preventiva nem sempre existem e alguns deles podem não ser considerados suficientemente completos. A ausência de estudos de *benchmarking* e de monitorização contínua também são um fator negativo, pois a sua realização poderia, certamente, contribuir para a otimização dos sistemas. Acrescentando a tudo isto, não há certezas quanto ao cuidado que possa ou não ter existido em relação à verificação dos períodos de garantia dos equipamentos, podendo até algumas escolas terem passado por períodos onde a manutenção não se realizou ou foi deficitária.

### 4.2.2. E se o comissionamento fosse aplicado?

Já se apresentou no Capítulo 2 todas as vantagens, benefícios e poupanças provenientes da aplicação do comissionamento. Apesar de terem sido vários os números apresentados, provenientes de diferentes estudos realizados, importa relembrar aqueles que devem ser considerados como valores médios de referência, e que se considera que são os mais relevantes para as análises que se irão efetuar posteriormente. Para o efeito pede-se a atenção para a Tabela 24.

Tabela 24 - Quadro resumo de custos e poupanças do comissionamento [15]

	Edifícios Existentes	Edifícios Novos
<b>Custo de implementação do comissionamento (€/m<sup>2</sup>)</b>	2,37	9,15
<b>Poupança – custos (€/m<sup>2</sup>·ano)</b>	2,29	1,42
<b>Poupança (%)</b>	16	13
<b>Período de retorno (anos)</b>	1,1	4,2
	<b>PRC</b>	<b>PC</b>

A pergunta que se pode colocar em relação aos casos de estudo é simples e objetiva: e se o comissionamento tivesse sido aplicado? Pela exposição realizada nos capítulos anteriores, principalmente no Capítulo 2, é óbvio que se conclui que se os edifícios tivessem sido alvo de uma implementação do PC de A a Z, ou seja, da FPP à FO&M, isso traria impactos positivos e resultados favoráveis ao nível dos consumos e poupanças.

Invoca-se a atenção do leitor para um facto: a implementação do PC consiste num conjunto de tarefas e atividades que se realizam ao longo de fases bem definidas. Essas tarefas e atividades foram definidas tendo por base diretivas e orientações que várias associações, como por exemplo a ASHRAE, consideram cruciais para que se possa obter do comissionamento todo o seu potencial. O cumprimento ou não das atividades, a profundidade ou frivolidade com que se aplica o processo é o que diferencia este dos demais. É com base neste pensamento que a análise aos casos de estudo se irá basear.

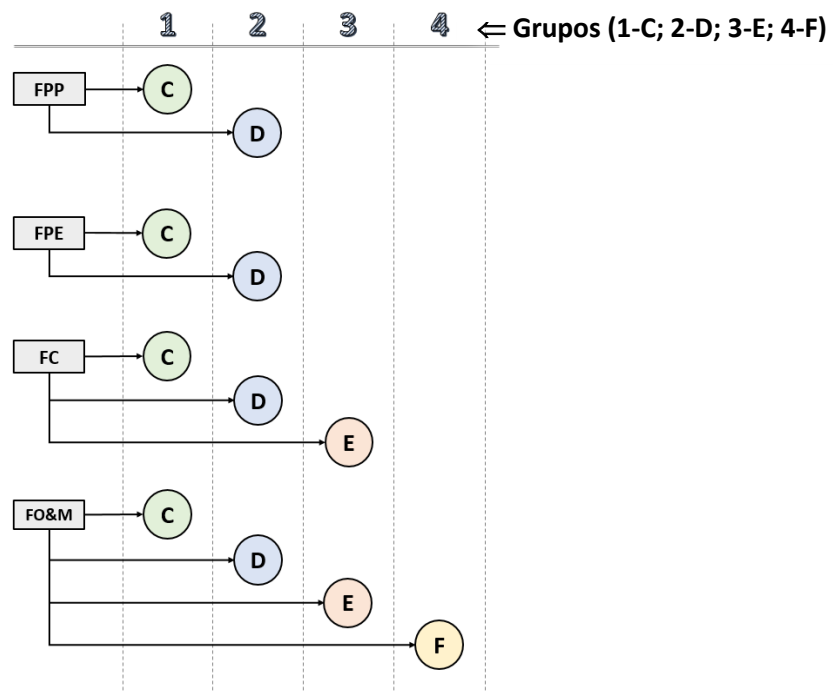
É certo que os casos de estudo são edifícios existentes, e também é uma realidade que o PC se aplica a edifícios novos (para os edifícios existentes o PRC é o mais aconselhável). Contudo, numa primeira análise, o objetivo é o de submeter cada um dos casos práticos a uma avaliação tendo por base os passos e metodologia inerentes ao PC. Para que esta avaliação fosse possível, procurou-se perceber como todo o processo de conceção, projeto, construção, operação e manutenção se desenrolou. Posteriormente, dividiu-se a implementação do PC em 4 grupos distintos de enquadramento: comunicação (C), documentação (D), ensaios (E) e formação (F). Para cada grupo definiram-se um conjunto de questões que estão diretamente interligadas com a aplicação do PC. Com base nas respostas a essas questões foi possível atribuir a cada um dos objetos de estudo um nível de potencial de poupança atingido.

### ***Conceção da Matriz do Processo de Comissionamento (M-PC)***

Segue-se a explicação sobre o desenvolvimento da matriz do processo de comissionamento (M-PC), que permitirá atribuir a cada um dos casos um nível de potencial de poupança atingido.

A matriz é composta pelas quatro fases do PC, i) fase de pré-projeto (FPP), ii) fase de projeto de execução (FPE), iii) fase de construção (FC) e iv) fase de operação e manutenção (FO&M). Cada uma das fases tem grupos de questões associadas, e, de acordo com o procedimento de aplicação do PC, há grupos que estão incluídos em todas as fases (como os grupos da comunicação e da documentação), ao passo que outros só se encaixam em fases finais, como o grupo da formação que só surge na FO&M.

Para ilustrar as relações que existem na matriz de análise elaborou-se um diagrama com as fases e os respetivos grupos que lhes estão associados (Ver Figura 22).



*Figura 22 - Diagrama com a atribuição dos grupos a cada uma das fases – M-PC.*

Segue-se a explicação para o desenvolvimento de cada um dos quatro grupos. Cada grupo é constituído por um conjunto de questões com origem na compreensão e fundamentos do processo de comissionamento. Cada questão tem associada uma chave de identificação e são caracterizadas por serem de resposta fechada, sendo que há a possibilidade de alterar o grau de importância de cada resposta em função de notas explicativas que possam ser fornecidas/obtidas. A escolha da resposta fechada tem que ver com a capacidade de facilitar as comparações e o tratamento quantitativo. As questões que constituem os grupos podem ser consultadas na Tabela 41 na secção M.1. do Anexo M. Chama-se de novo a atenção do leitor para o facto das perguntas terem sido desenvolvidas com base nas ações e tarefas que o PC diz que se devem cumprir. Por outras palavras, as questões podem ser vistas como um reflexo das

atividades de comissionamento, às quais se procura resposta para perceber o que foi ou não cumprido tendo em conta as diretivas do PC.

Após a definição do questionário e a colocação de cada pergunta no respetivo grupo (de referir que a cada grupo corresponde uma cor diferente, a saber: verde-comunicação; azul-documentação; laranja-ensaios; amarelo-formação), atribuiu-se cada questão à respetiva fase. Atente-se na Figura 23 para perceber a distribuição das questões pelas diferentes fases.

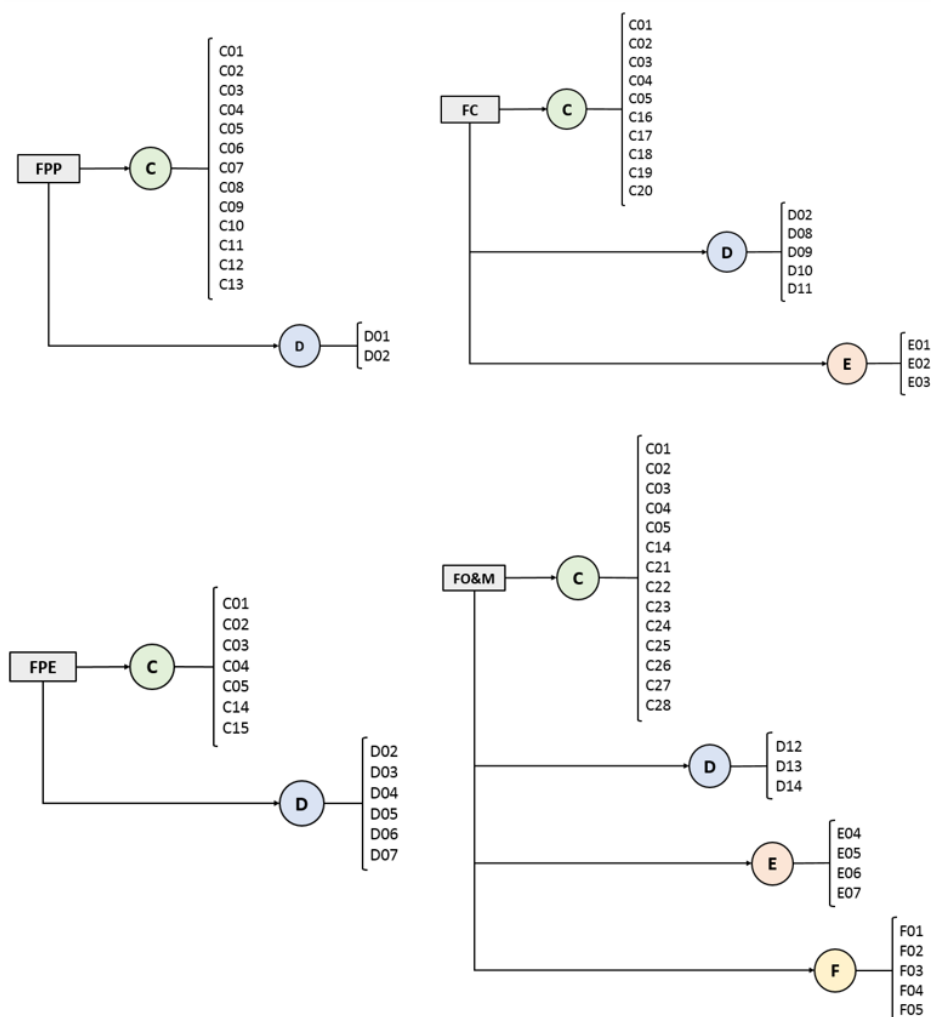


Figura 23 - Desenvolvimento do fluxograma - M-PC.

Refira-se novamente que as questões podem ser lidas na secção M.1. do Anexo M. O seu enquadramento nas diferentes fases é feito por intermédio das chaves de identificação.

Depois da definição do questionário e do enquadramento de cada questão nos respetivos grupos e fases, procedeu-se à atribuição do grau de importância a cada fase e a cada atividade intrínseca a cada uma das questões. Esse grau de importância será traduzido numa percentagem e será atribuído de acordo com o estudo efetuado sobre os processos e metodologias de comissionamento. De acordo com a Figura 24 é evidente o peso, ou grau de importância, que cada fase tem no que ao alcance do potencial de poupança diz respeito.

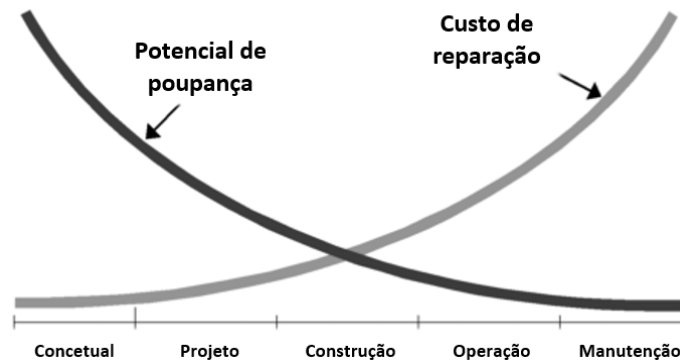


Figura 24 - Potencial de poupança ao longo das fases do PC. [7]

Analisando ainda a Figura 24 conclui-se que o potencial de poupança é muito maior quando se implementa o PC nas fases iniciais de pré-projeto e de projeto. De facto, são fases essenciais para o desfecho da obra. Qualquer anomalia, falha ou incumprimento nestas primeiras fases, representará um menor potencial de poupança que se poderá atingir, ou seja, perdeu-se potencial de poupança porque já se falhou na execução de tarefas e atividades fundamentais no que à aplicação do comissionamento diz respeito. Também se constata que o custo de reparação de deficiências e problemas é exponencialmente superior em fases finais, por exemplo, na fase de manutenção comparativamente à fase de projeto.

Segundo o que foi supramencionado, definiu-se o grau de importância de cada fase com a atribuição dos valores registados na Tabela 25.

É fundamental que o leitor compreenda que a atribuição do grau de importância (GI) tal como foi dito anteriormente, tem por base o estudo efetuado sobre os processos e metodologias do comissionamento. Sendo assim, pode afirmar-se que a determinação dos GI se baseou num processo semi-empírico. A via semi-empírica revelou-se o único método capaz de ser utilizado na determinação da importância que cada fase, ou mesmo cada questão, tem em toda a análise. Refira-se que no tempo de pesquisa e desenvolvimento da presente dissertação não foi possível encontrar qualquer tipo de análise semelhante àquela que é exposta neste documento. Assim, e uma vez que estas análises que se seguirão podem ser consideradas pioneiras, os GI devem ser vistos como valores que poderão ser ajustados no futuro, por intermédio de estudos mais detalhados e com outro tipo de recursos.

Tabela 25 - Atribuição do grau de importância a cada fase

Fase	GI para o alcance do potencial de poupança
FPP	35%
FPE	30%
FC	20%
FO&M	15%

Seguidamente avaliou-se o peso, ou o grau de importância, que cada questão terá, ou seja, trata-se de quantificar o impacto da resposta a essa questão para a análise. Por exemplo, considera-se mais importante a presença de uma entidade independente (do tipo fiscalizadora) numa reunião a realizar durante a FPP do que a presença de um técnico da manutenção. Como tal, a questão C05 terá um grau de importância superior comparativamente à questão C04 (ver a secção M.1. do Anexo M com as questões da matriz). Apresentar-se-á de novo o desdobramento do diagrama da Figura 23, mas agora com os diferentes graus de importância associados a cada questão. A atribuição desses GI seguem a via semi-empírica explicada no parágrafo anterior (Ver Figura 25).

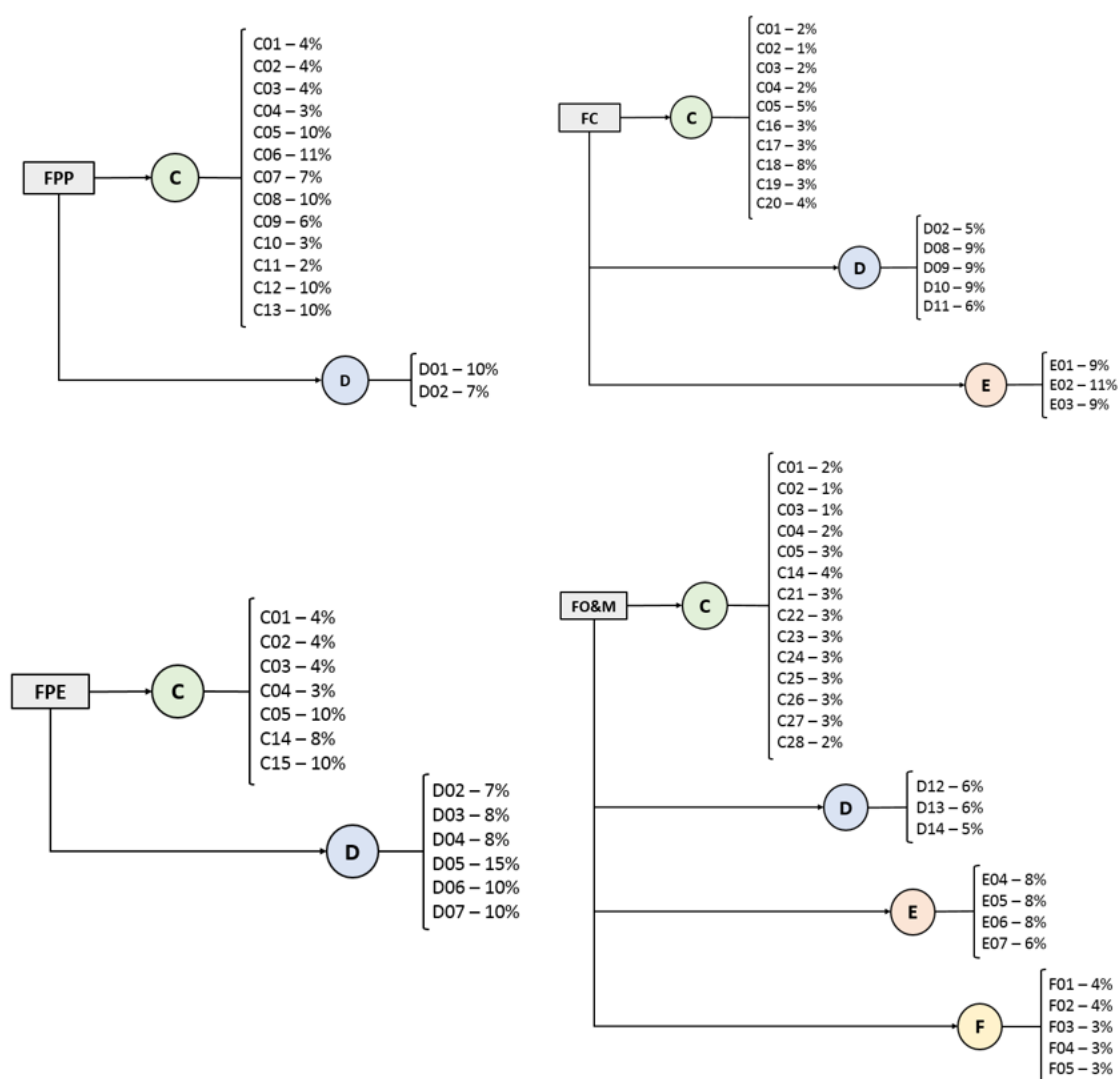


Figura 25 - Atribuição do grau de importância a cada questão.

Por observação da Figura 26 conclui-se sobre os graus de importância que cada grupo possui em relação às diferentes fases em que se inserem ao longo de todo o processo. Na fase de pré-projeto, FPP, o grupo da comunicação é considerado o mais importante, o que seria expectável, visto que se trata de uma fase mais conceptual, de discussão e definição sobre o projeto. Na fase de projeto de execução, FPE, a balança entre comunicação e documentação já se encontra bem mais equilibrada, com um ascendente por parte da tarefa de documentação, o que seria previsível devido aos desenhos das várias especialidades a executar, aos requisitos e memórias descritivas que devem ser registados e aos critérios de aceitação a escriturar. Na fase de construção, FC, verifica-se que os ensaios assumem uma importância de quase um terço em relação aos restantes grupos. Na fase de operação e manutenção, FO&M, os ensaios e a formação compreendem cerca de 53% da importância desta fase, mais de metade do panorama nesta altura do processo. Não é de mais reforçar a ideia que estamos perante uma atribuição de importância baseada numa análise semi-empírica, tal como já foi supramencionado.

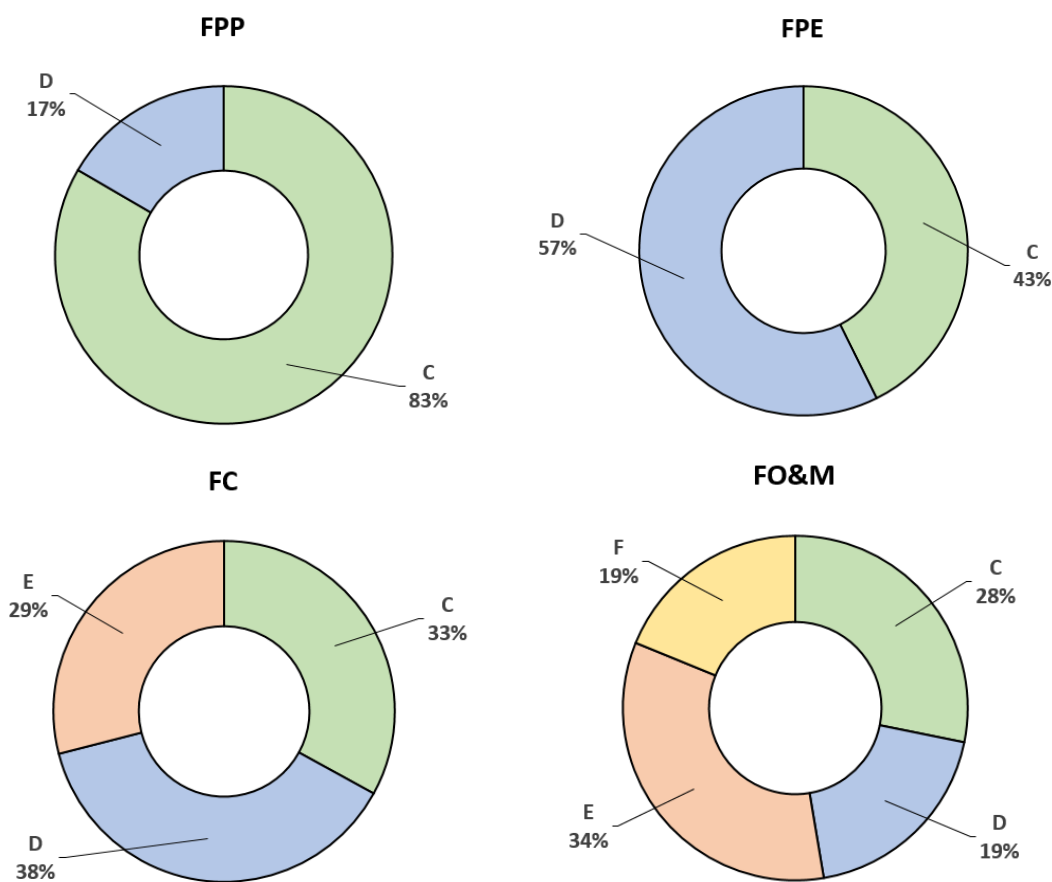


Figura 26 - Graus de importância dos grupos em cada fase do processo de comissionamento.

Findados todos os passos anteriormente descritos, reúnem-se as condições para a elaboração e preenchimento da matriz de análise do PC.

### ***Preenchimento da Matriz do Processo de Comissionamento (M-PC) – os 5 casos***

Segue-se o preenchimento da matriz para os 5 objetos de estudo. Cada uma das questões apresenta quatro hipóteses de resposta: *Sim (S)*, *Sim mas (M)*, *Não (N)* e *Desconhece-se (D)*. A Tabela 26 clarifica o que cada uma das opções representa.

*Tabela 26 - As opções de resposta e o seu significado*

<b>Opção de resposta</b>	<b>Significado</b>	<b>Observação</b>
<b>Sim (S)</b>	A resposta à questão é afirmativa e considera-se que a tarefa ou ação associada se cumpriu na sua essência	
<b>Sim mas (M)</b>	A resposta à questão é afirmativa, mas não na sua totalidade. O cumprimento da tarefa ou ação não abrange todas as exigências inerentes	Neste caso deve-se multiplicar por um fator de 0,25; 0,5; 0,75 conforme o distanciamento ou não do cumprimento dos aspetos relevantes <sup>8</sup>
<b>Não (N)</b>	A resposta é negativa e revela que determinada ação ou tarefa não se realizou.	
<b>Desconhece-se (D)</b>	A resposta revela desconhecimento sobre a questão. Não foi possível apurar sobre a mesma.	Esta opção não revela, necessariamente, que a ação ou tarefa não se cumpriu. Até se admite que possa ter sido executada, mas não se conseguiu comprovar, nem através dos documentos e registos, nem através do depoimento de intervenientes que acompanham os casos de estudo

Para cada um dos casos, I,II,III,IV e V, procedeu-se ao preenchimento da M-PC. As matrizes podem ser observadas por intermédio das Tabelas 42, 43, 44, 45 e 46 na secção M.2. do Anexo M.

A Tabela 27 sintetiza a situação dos casos de estudo tendo por base as respostas obtidas através do preenchimento das matrizes. Atente-se na legenda da tabela para perceber o significado do cruzamento de cada linha com cada uma das colunas.

<sup>8</sup> A multiplicação pelos fatores descritos resulta de um entendimento sobre o que foi ou não cumprido em determinada ação ou tarefa. Por exemplo, um documento que exista mas que se considere bastante incompleto, deve-se multiplicar o seu peso pelo fator 0,25.



Tabela 27 - Síntese das respostas obtidas nas matrizes do PC para os 5 casos de estudo

Fase	Grupo	Caso I				Caso II				Caso III				Caso IV				Caso V			
		S	M	N	D	S	M	N	D	S	M	N	D	S	M	N	D	S	M	N	D
FPP	1	5	-	2	6	7	-	2	4	7	-	2	4	8	1	2	2	8	1	2	2
	2	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
		$\Sigma=15$				$\Sigma=15$				$\Sigma=15$				$\Sigma=15$				$\Sigma=15$			
FPE	1	2	-	2	3	2	-	2	3	2	-	2	3	2	-	2	3	2	-	2	3
	2	1	3	-	2	1	3	-	2	1	3	-	2	1	3	-	2	1	3	-	2
		$\Sigma=13$				$\Sigma=13$				$\Sigma=13$				$\Sigma=13$				$\Sigma=13$			
FC	1	5	-	1	4	5	-	1	4	5	-	1	4	5	1	2	2	5	1	2	2
	2	-	1	-	4	-	1	1	3	-	1	1	3	1	2	-	2	1	2	-	2
	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	1	-	2	-	1	-	2
		$\Sigma=18$				$\Sigma=18$				$\Sigma=18$				$\Sigma=18$				$\Sigma=18$			
FO&M	1	9	1	2	2	9	1	2	2	9	1	2	2	9	1	2	2	9	1	2	2
	2	-	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1	-	2	1	-	-	2	1	-
	3	1	1	-	2	-	1	1	2	1	1	-	2	1	1	-	2	1	1	-	2
	4	1	-	-	4	1	-	4	-	1	1	2	1	1	3	-	1	1	3	-	1
		$\Sigma=26$				$\Sigma=26$				$\Sigma=26$				$\Sigma=26$				$\Sigma=26$			

FPP – fase pré-projeto; FPE – fase projeto de execução; FC – fase construção; FO&M – fase operação e manutenção

S – Sim; M – Sim mas; N – Não; D – Desconhece-se

(-) Não houve respostas neste grupo; ( $\Sigma$ ) Representa o total de questões e respetivas respostas em cada fase

Por observação da Tabela 28 apenas se pode concluir sobre a componente quantitativa das respostas e não sobre a vertente qualitativa. Por exemplo, os casos IV e V têm ambos 28 respostas “Sim” e 16 respostas “Sim mas” na totalidade do preenchimento da matriz M-PC, com isto não quer dizer que obtenham o mesmo potencial de poupança, pois os “Sim” e os “Sim mas” podem ter sido atribuídos a questões com diferentes graus de importância.

Tabela 28 - Panorama geral dos casos de estudo em relação ao PC

Todo o Processo	Caso I				Caso II				Caso III				Caso IV				Caso V			
	S	M	N	D	S	M	N	D	S	M	N	D	S	M	N	D	S	M	N	D
	24	8	8	32	25	8	14	25	26	9	11	26	28	16	9	19	28	16	9	19
	$\Sigma=72$				$\Sigma=72$				$\Sigma=72$				$\Sigma=72$				$\Sigma=72$			

S – Sim; M – Sim mas; N – Não; D – Desconhece-se

( $\Sigma$ ) Representa o total de questões que foram submetidas a cada um dos casos

Analisando a Figura 27 e considerando a aplicação de todo o processo, de um total de 72 perguntas que compõe a matriz, para muitas delas não foi possível encontrar resposta (entre 26% e 45%). Verificou-se ainda que a resposta “Não” se verificou em cerca de 11% a 19% dos casos. De salientar que as respostas “Sim, mas”, apesar de afirmativas, refletem tarefas ou ações que podem estar muito incompletas ou aquém do que as diretivas do processo exigem.

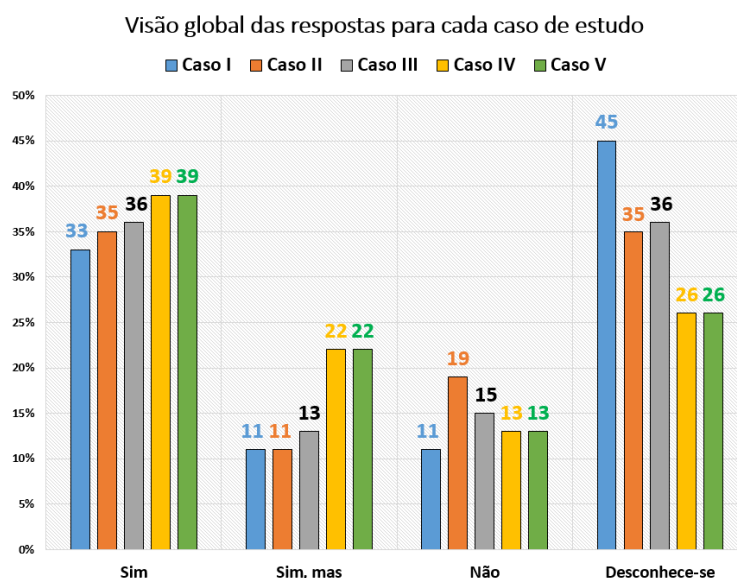


Figura 27 - Visão global das respostas para cada caso de estudo.

### ***Análise da Matriz do Processo de Comissionamento (M-PC) – os 5 casos***

De acordo com os resultados obtidos e com a pesquisa bibliográfica efetuada é possível estimar alguns valores indicativos sobre poupança de custos. Relembre-se que se procura resposta à pergunta: *E se o comissionamento fosse aplicado?*

Imagine-se que o PC teria sido aplicado no seu âmbito mais alargado e que todas as diretivas e orientações foram cumpridas aquando do início do projeto e se prolongaram até à atualidade. Neste cenário, o potencial de poupança do PC seria de 100% e, de acordo com informação de estudos anteriores, para novos edifícios alvo de comissionamento, a poupança seria de 1,42 €/m<sup>2</sup>·ano. Isto é, de facto, uma situação que não passa de uma hipótese. Na realidade o que se verifica, e em função do comissionamento não ter sido aplicado, é que o potencial de poupança será necessariamente inferior a 100%.

Como se submeteu cada um dos casos de estudo a uma avaliação para perceber o que é que foi cumprido e que se possa enquadrar nas ações e tarefas que compõe a metodologia de implementação do PC, é possível estimar em que percentagem se encontra o potencial de poupança de cada um dos objetos de análise.

Atente-se na Tabela 29 que expõe os resultados obtidos através do preenchimento das matrizes de análise. A terceira coluna resulta do produto da poupança média expectável obtida através

da pesquisa bibliográfica (1,42 €/m<sup>2</sup>·ano) pela área bruta de construção aproximada. A quarta coluna diz respeito ao potencial de poupança atingido por cada um dos casos de estudo. Este potencial é obtido através do somatório do produtório entre o GI das questões respondidas com “Sim” e “Sim mas” e o GI da respetiva fase. A quinta coluna diz respeito ao potencial de poupança que não é aproveitado em função da não aplicação do PC no seu âmbito mais alargado e da forma correta. Os valores dessa mesma coluna são obtidos multiplicando a terceira coluna pela diferença para 100% do potencial da quarta coluna.

*Tabela 29 - Quadro resumo - o que se poupa e o que se poderia poupar*

Caso de estudo	Área bruta de construção (aproximada) [m <sup>2</sup> ]	Com aplicação total do PC (potencial de poupança de 100%) [€/ano]	Potencial de poupança resultante da M-PC	Poupança que não se aproveita [€/ano]
I	13.100	18.602	28%	13.393
II	14.500	20.590	37%	12.972
III	15.300	21.726	38%	13.470
IV	16.200	23.004	51%	11.272
V	7.500	10.650	47%	5.545

Analisando ainda a Tabela 29 é possível responder com clareza à questão que se colocou inicialmente. Com a “aplicação” deficiente do comissionamento (o comissionamento ainda que não tenha sido aplicado de forma explícita, algumas das suas ações e tarefas foram executadas, pois já se encontram nos padrões de atuação das empresas de construção) constata-se que o potencial de poupança cai a pique no caso I para 28%, desce bastante para os casos II (37%) e III (38%) e decresce também para os casos IV (51%) e V (47%). Este potencial que é perdido reflete-se negativamente nos custos correntes, que poderiam ser inferiores aos que se praticam atualmente.

#### **4.2.3. O edifício é um bom candidato ao retro comissionamento?**

Outra perspetiva de análise procurou dar resposta à pergunta se os edifícios alvo são ou não bons candidatos a que se implemente o retro comissionamento. Como se tratam de edifícios existentes nunca antes comissionados, o processo que mais se adequa para estes casos é o PRC.

Nesta segunda parte da análise só foram considerados dois casos de estudo, o caso I e o caso II. A explicação deve-se ao facto de ambos os casos terem sido avaliados com mais detalhe em relação aos restantes. Esse detalhe de compreensão era necessário pois esta matriz do processo de retro comissionamento (M-PRC) apresenta questões que estão muito mais relacionadas com o próprio dia-a-dia das escolas, com a operação e a manutenção, deixando para segundo plano as questões mais conceptuais.

O objetivo é submeter os dois casos de estudo, A e B, a uma avaliação com base na M-PRC. Procura-se resposta para um conjunto de questões que irão permitir a classificação de cada uma das escolas mediante uma escala de 1 a 4, escala essa que representa a maior ou menor necessidade de retro comissionamento à medida que se evolui no sentido crescente da mesma. Uma pontuação que permita a atribuição da classificação 1 situa o caso de estudo num patamar em que se aconselha fortemente a implementação do PRC. Por outro lado, a obtenção da categoria 4 revela que a aplicação do PRC não é imperativa, ainda que se possa recomendar um conjunto de medidas de monitorização e controlo dos sistemas que permitam otimizar o desempenho das instalações.

### ***Conceção da Matriz do Processo de Retro Comissionamento, M-PRC***

Esta matriz é constituída por 40 questões de resposta fechada, divididas por 4 grupos distintos, a saber: projeto (P), documentos (D), operação (O) e manutenção (M). A distinção dos grupos é feita não só pela letra correspondente à inicial de cada termo, bem como pela atribuição de diferentes cores: verde – (P), azul – (D), laranja – (O) e amarelo – (M). As questões apresentadas na secção N.1. do Anexo N são um reflexo da aplicação do PRC, ou seja, estão intimamente relacionadas com as tarefas e atividades deste processo.

Por forma a ser possível quantificar o impacto da resposta a cada uma das questões surgiu a necessidade de conferir graus de importância a cada um dos grupos e, posteriormente, a cada questão. O maior grau de importância foi atribuído ao grupo O (operação), que se traduziu numa percentagem de 35%, seguindo-se o grupo M (manutenção) com um peso de 30%. Verifica-se então que estes dois grupos juntos representam 65%, o que lhes confere uma importância muito significativa no que à aplicação do PRC diz respeito. Ao grupo D conferiu-se um grau de importância que se manifesta num peso de 25%. Os restantes 10% foram concedidos ao grupo P. O grau de importância atribuído a cada questão teve por base o conhecimento adquirido sobre o processo e sobre o que se considera ser mais influente no mesmo. Mais uma vez importa referir que se trata de uma análise semi-empírica, tal como referido aquando da explicação da conceção da M-PC na subsecção anterior. Os GI de cada um dos grupos está resumido na Tabela 30.

*Tabela 30 - Atribuição do grau de importância a cada fase*

<b>Grupo</b>	<b>GI para o alcance do potencial de poupança</b>
<b>P</b>	10%
<b>D</b>	25%
<b>O</b>	35%
<b>M</b>	30%

As opções de resposta possíveis são as mesmas que estão apresentadas na Tabela 26. O seu significado e impacto também são os mesmos.

### ***Preenchimento da Matriz do Processo de Retro Comissionamento (M-PRC) – os 2 casos***

O preenchimento da matriz para cada uma das escolas alvo da análise pode ser consultado com detalhe na secção N.2. do Anexo N, Tabelas 48 e 49. A Tabela 31 representa a síntese do preenchimento dessas mesmas matrizes. Atente-se na legenda da tabela para perceber o significado do cruzamento de cada linha com cada uma das colunas.

*Tabela 31 - Síntese das respostas obtidas nas matrizes do PRC para os 2 casos de estudo, I e II*

Grupo	Caso I				Caso II			
	S	M	N	D	S	M	N	D
P	2	2	-	1	2	2	-	1
	$\Sigma=5$				$\Sigma=5$			
D	3	2	8	5	7	2	4	5
	$\Sigma=18$				$\Sigma=18$			
O	2	1	1	4	2	1	1	4
	$\Sigma=8$				$\Sigma=8$			
M	1	-	8	-	1	1	7	-
	$\Sigma=9$				$\Sigma=9$			

P – projeto; D – documentação; O – operação; M – manutenção

S – Sim; M – Sim mas; N – Não; D – Desconhece-se

(-) Não houve respostas neste grupo; ( $\Sigma$ ) Representa o total de respostas em cada grupo

Analisando a Figura 28 e considerando a aplicação de todo o processo, de um total de 40 perguntas que compõe a matriz, para muitas delas não foi possível encontrar resposta, cerca de 25%. Verificou-se ainda que a resposta “Não” se registou em cerca de 30% a 42% dos casos. De salientar que as respostas “Sim, mas”, apesar de afirmativas, refletem tarefas ou ações que podem estar muito incompletas ou aquém do que as diretivas do processo exigem.

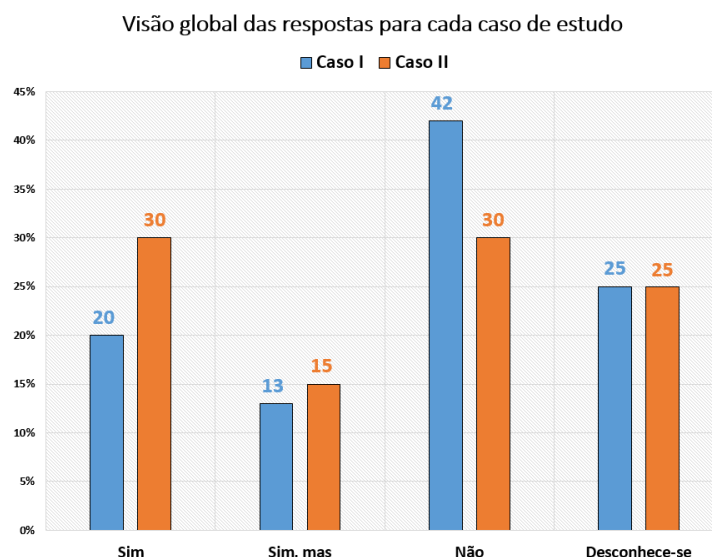


Figura 28 - Visão global das respostas para cada caso de estudo.

### *Análise da Matriz do Processo de Retro Comissionamento (M-PRC) – os 2 casos*

Dos resultados obtidos, provenientes das matrizes apresentadas anteriormente, é possível obter uma classificação para cada um dos casos de estudo. Essa classificação deve ser comparada com os diferentes intervalos correspondentes a cada categoria específica.

Estas categorias são numeradas de 1 a 4. Para a atribuição de uma delas, a classificação deverá cumprir o critério que passa por pertencer ao intervalo de valores definido para o efeito. A Tabela 32 faz a correspondência entre as categorias e os respectivos critérios ou intervalos. O critério que se adotou tem por base o critério dos quartis.

Tabela 32 - Categorias e critérios para aplicação do processo de retro comissionamento

Categoria	Critério	Consequência
1	$0 \leq M-PRC \leq 25$	Obrigatório aplicar retro comissionamento
2	$26 \leq M-PRC \leq 50$	Muito aconselhável aplicar retro comissionamento
3	$51 \leq M-PRC \leq 75$	Aconselhável aplicar retro comissionamento
4	$76 \leq M-PRC \leq 100$	Recomenda-se uma aplicação suave do retro comissionamento para otimizar as instalações

A Tabela 33 apresenta os resultados que se extraíram das matrizes de análise.

Tabela 33 - Resultados das M-PRC

	Caso de estudo I	Caso de estudo II
<b>Grupo P (de um máximo de 10%)</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>
<b>Grupo D (de um máximo de 25%)</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>
<b>Grupo O (de um máximo de 35%)</b>	<b>11%</b>	<b>11%</b>
<b>Grupo M (de um máximo de 30%)</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>
<b>M-PRC (de um máximo de 100%)</b>	<b>25%</b>	<b>31%</b>

Analisando ainda a Tabela 33 pode concluir-se que ambos os casos apresentam problemas no que ao cumprimento de ações e tarefas que constituem o PRC diz respeito. Para o caso I, verifica-se que se atingiu apenas 50% da importância do Grupo P, 23% para o Grupo D, 31% do potencial do Grupo O e apenas 12% no que há manutenção se refere. Para o caso II, o cenário é ligeiramente mais positivo, mas mesmo assim fica longe de valores que permitem a atribuição de uma categoria superior a 2. Do Grupo P registou-se um cumprimento de 50%, do Grupo D atingiu-se os 40% da importância, no Grupo O completou-se 32% e o grupo da manutenção volta a ser o mais afetado, com apenas 17% do potencial atingido.

O panorama das duas escolas é tudo menos animador, revelando uma atribuição das categorias 1 e 2 para os casos I e II respetivamente. Isto implica, de acordo com a Tabela 32, que se aconselha vivamente a aplicar o processo, ou seja, estes dois casos são dois bons exemplos de bons candidatos para a implementação do PRC.

Já se explorou anteriormente os benefícios inerentes à aplicação do comissionamento em edifícios existentes. Neste caso particular dos edifícios escolares, um estudo, [27], revela valores de referência para poupanças anuais, custos de implementação e períodos de retorno. (Ver Tabela 34)<sup>9</sup>

Tabela 34 - Poupança, custo e período de retorno - caso particular de edifícios escolares [27]

<b>Tipo de edifício</b>	<b>Poupança anual (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Custos de implementação (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Período de retorno (anos)</b>
<b>Escolas</b>	<b>1,36</b>	<b>2,78</b>	<b>2,0</b>

Com a aplicação do retro comissionamento nos dois casos de estudo prevê-se uma poupança anual de, aproximadamente, 17.816 € para o caso I, e de 19.720 € para o caso II. Estes valores são obtidos multiplicando a poupança anual da Tabela 34 pela área bruta de construção de cada caso. Mas tendo em conta o potencial atingido por cada escola até ao momento, 25% no caso I

<sup>9</sup> Importa precisar que neste caso particular, o estudo referenciado foi apresentado em setembro de 2007, como tal, utilizou-se a conversão dólar-euro de acordo com as taxas de câmbio para essa data (1\$=0,72€). Fator de conversão para a unidade de área: 1ft<sup>2</sup>=0,09m<sup>2</sup>.

e 31% no caso II, o potencial de poupança que ainda pode ser aproveitado é de 13.362 € para o caso I ( $17.816 \times 0,75$ ) e de 13.607 € para o caso II ( $19.720 \times 0,69$ ).

### 4.3. Discussão de resultados

Foram efetuadas duas análises que seguiram duas abordagens diferentes, com o intuito de dar resposta a questões distintas mas que seguem a mesma linha de raciocínio.

- ***E se o comissionamento fosse aplicado?***

Se o comissionamento fosse aplicado da forma mais correta e completa, as poupanças obtidas seriam significativas, como se concluiu na subsecção 4.2.2. Analisando a Tabela 35 verifica-se que muito potencial de poupança que existe no PC é desaproveitado.

Esse desaproveitamento segue um padrão que se pode associar, de certa forma, a diferentes períodos temporais de desenvolvimento dos projetos que estão por trás de cada uma das escolas alvo de estudo.

*Tabela 35 - Poupança desaproveitada pela não aplicação do PC*

Caso de estudo	Potencial de poupança (%)	Potencial de poupança [€/ano]
I	72%	13.393
II	63%	12.972
III	62%	13.470
IV	49%	11.272
V	53%	5.645

Os períodos de acompanhamento dos projetos dos vários casos de estudo estão ilustrados na Figura 29.



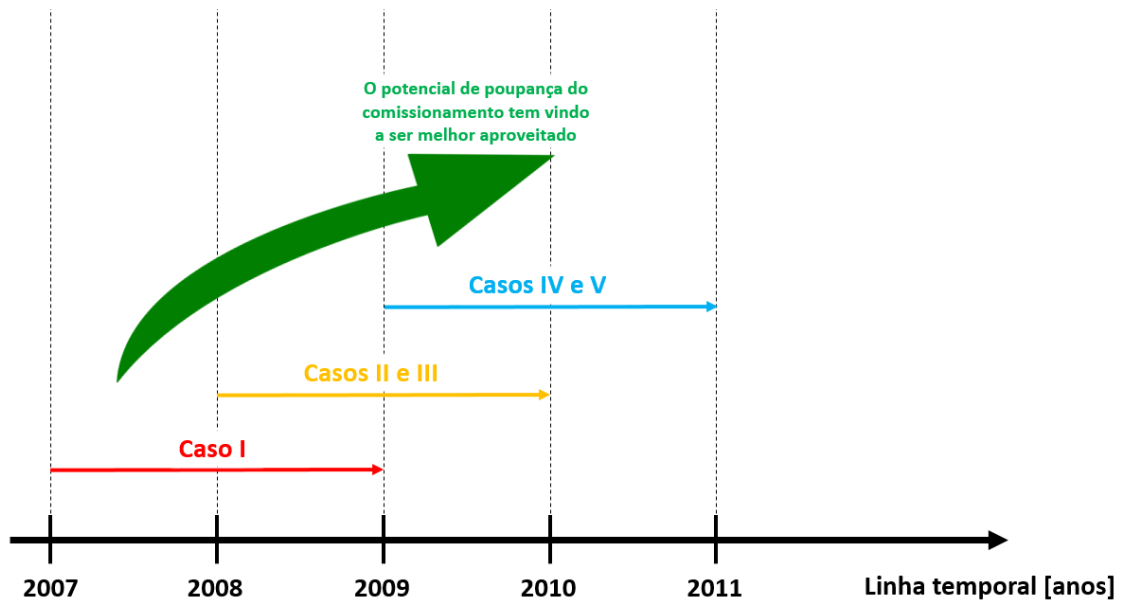


Figura 29 - Evolução temporal e respetivo enquadramento dos projetos.

Constata-se que, à medida que a Parque Escolar inicia um novo período de projeto e construção de um determinado conjunto de edifícios escolares, o potencial de poupança do comissionamento tende a ser menos desaproveitado. Certamente há um esforço no sentido de melhorar os procedimentos e as metodologias ao longo dos anos, talvez muito por culpa da identificação de erros que se cometeram em projetos anteriores e que se conclui que não devem ser cometidos da data em diante. Um conjunto de questões podem ser colocadas: quantos períodos de construção serão necessários para se tirar partido de todo o potencial de poupança? Será que o comissionamento se fosse aplicado logo em 2007, não iria evitar muitos problemas e não teria permitido que o patamar atual fosse de menor consumo e de maior poupança? Será necessário cometer todo um conjunto de erros no presente para não os cometer no futuro, quando à partida é possível evita-los?

- ***O edifício é um bom candidato ao retro comissionamento?***

Dos dois casos avaliados, conclui-se que ambos são bons candidatos à implementação das técnicas de retro comissionamento, com o aliciente principal de poderem alcançar metas de poupança energética. A Tabela 36 mostra a resposta à questão principal para cada uma das escolas analisadas:

Tabela 36 - Categoria dos casos de estudo A e B

Caso de estudo	Categoria	Cr�terio	Consequência
I	1	$0 \leq M-PRC=25 \leq 25$	Obrigatório aplicar retro comiss�onamento
II	2	$26 \leq M-PRC=31 \leq 50$	Muito aconselhável aplicar retro comiss�onamento

Uma vez submetidos ao PRC, prevê-se que as poupanças anuais para A e B são, respetivamente e aproximadamente, de 13.360   e de 13.600  . Através desta análise, foi possível obter valores de poupança semelhantes àqueles que foram obtidos para os mesmos casos de estudo (I e II) segundo a primeira análise, com recurso   matriz M-PC.

Ambas as perspetivas de análise permitiram compreender que a resposta à primeira questão está intimamente relacionada com a resposta à segunda, são questões indissociáveis, na medida em que um edifício que desaproveite um maior potencial de poupança, como o caso I (72%), necessariamente terá de ser um bom candidato a receber o processo, aliás, o melhor candidato para tal.

#### 4.4. Análise SWOT

A análise SWOT pode ser entendida como uma excelente ferramenta para organizar informação, apresentar soluções, identificar obstáculos e realçar as oportunidades. É frequentemente utilizada como base para a gestão e planeamento estratégico e atua, em muitas situações, como um impulsionador para a tomada de decisões.

Como o próprio nome indica (SWOT)   uma análise que coloca em perspetiva as forças (*Strengths*), fraquezas (*Weaknesses*), oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) que estão inerentes a uma ideia, um paradigma, um processo ou metodologia. A análise SWOT tem como principais objetivos:

- Efetuar um resumo das análises internas e externas ao processo;
- Identificar elementos chave para a aplicação do conceito, estabelecendo prioridades de atuação;
- Preparar ações estratégicas com base na identificação de riscos/problemas inerentes.

A Figura 30 apresenta esta análise que confere uma ideia clara sobre quais os aspetos de destaque que tornam o PC de edifícios ainda mais competente, quais as principais oportunidades que possibilitam a implementação do PC, as fraquezas que devem ser resolvidas para melhorar o processo e as ameaças que devem ser evitadas.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuda o dono de obra a identificar, documentar e definir critérios de aceitação para os requisitos e necessidades do projeto;</li> <li>• Promove a melhoria da comunicação entre as partes envolvidas;</li> <li>• Ajuda a manter o orçamento do projeto, reduzindo o custo de alterações no processo através da identificação de problemas o mais cedo possível;</li> <li>• Estudos provam que é um processo que assegura uma garantia de qualidade ao nível do custo-benefício;</li> <li>• Permite que se obtenha um ambiente interior saudável, com a melhoria da QAI, do conforto e da segurança;</li> <li>• A elaboração de documentos com informação chave sobre o edifício e os sistemas contribui para manter a tarefa da manutenção num nível de rigor e de qualidade elevado durante a vida útil das instalações;</li> <li>• Redução dos custos operacionais e energéticos provenientes de um desempenho eficiente dos sistemas;</li> <li>• Através da combinação de várias atividades é possível reduzir o índice de insatisfação dos utilizadores e o número de problemas relacionados com os períodos de garantia dos equipamentos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os donos de obra raramente estão recetivos a ter custos adicionais, principalmente nos projetos que já são dispendiosos;</li> <li>• Alguns donos de obra podem já ter tido más experiências com o processo devido a retornos insatisfatórios;</li> <li>• Muitos donos de obra são da opinião que não devem pagar por um serviço que assegure que os seus requisitos são cumpridos quando isso já deveria estar incluído nos custos com os projetistas e empreiteiros;</li> <li>• A falta de profissionais certificados que possam desempenhar as funções da AC, pois o que se verifica na generalidade são empresas que alegam capacidade de implementação do processo, quando na verdade apenas executam testes simples de controlo e equilíbrio dos equipamentos, dando assim uma péssima imagem do PC e uma má experiência aos donos de obra;</li> <li>• Devido à falta de empresas certificadas verifica-se a inexistência de um padrão de aplicação do PC, e por conseguinte a inexistência de uma aplicação consistente dos métodos;</li> <li>• A falta de padronização do processo e resultados pouco consistentes diminuem a reputação que projetos anteriores de comissionamento ajudaram a construir.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O dono de obra não possui, normalmente, uma ideia clara sobre os requisitos e necessidades do edifício;</li> <li>• Requisitos pouco claros relativamente aos critérios mínimos de aceitação de nível de desempenho dos sistemas e equipamentos;</li> <li>• Maior impacto do PC em grandes edifícios com sistemas complexos instalados;</li> <li>• Falta de testes de desempenho funcional adequados;</li> <li>• Documentação incompleta com informação inadequada e muitas vezes desatualizada;</li> <li>• Ausência de formação aos técnicos de O&amp;M.</li> </ul> <p><i>Opportunities</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crise económica atual onde qualquer custo adicional nos projetos de edifícios tende a ser evitado;</li> <li>• Edifícios com um baixo nível de complexidade e pequenos sistemas, que favorecem a aplicação de pequenos testes de ajuste e equilíbrio em detrimento do PC;</li> <li>• Falta de experiência e formação de autoridades que apliquem o PC;</li> <li>• Aumento de entidades que dizem oferecer serviços de comissionamento que não passam de um processo superficial de certificação, afetando significativamente a reputação do comissionamento como processo orientado para a qualidade de alcançar, verificar e documentar o desempenho efetivo em relação aos requisitos predefinidos;</li> <li>• Atrasos na construção, muito por culpa da introdução do PC em fases avançadas do projeto.</li> </ul> <p><i>Threats</i></p>

Figura 30 - Análise SWOT ao comissionamento de edifícios [34]

No que às fraquezas diz respeito, pode ler-se na Figura 28 que se aponta o custo adicional do processo como um dos pontos fracos do processo. No entanto, o PC tem condições para não ser encarado como um custo adicional mas sim como algo que poderá reduzir em muito os custos operacionais e de resolução de problemas, principalmente se for implementado em fases iniciais do processo. Tal cenário permite que se conclua que os benefícios obtidos serão superiores aos custos de implementação [34].

As ameaças apresentadas na análise SWOT podem ser entendidas como inconvenientes externos que em muitos casos não podem ser atenuados, então, em vez de se tratar de lidar com as ameaças, estas devem ser evitadas. A última ameaça que faz parte da lista da Figura 28, relativa aos atrasos na construção, é facilmente evitada se se tiver o cuidado de incluir a equipa de comissionamento em fases iniciais do processo e transmitir claramente o que se espera de cada uma das partes envolvidas ao longo do processo. No que aos edifícios de baixa complexidade diz respeito, estes podem beneficiar de todo o potencial do comissionamento se este for implementado adequadamente. As ameaças relacionadas com falta de experiência ou formação tenderão a deixar de existir logo que o processo se estabeleça em maior escala e com raízes mais fortes na indústria da construção. Isso ajudará também a padronizar os processos e a extinguir as más experiências que podem surgir da aplicação deficiente do PC [34].

## Capítulo 5 – Conclusões

O comissionamento de edifícios é um processo sistemático de verificação proactiva, orientado para a qualidade, de que os sistemas são projetados, instalados, testados e capazes de operarem e de serem alvo de manutenção de acordo com as expectativas e exigências do dono de obra ou proprietário do edifício. O processo de comissionamento confere ao edifício alvo uma otimização da eficiência energética, da qualidade do ar interior e do conforto dos ocupantes, bem como a redução dos custos de operação e manutenção.

Da análise do caso prático, e extrapolando a amostra para o universo de todas as escolas ao abrigo do PMEES, conclui-se que os estabelecimentos de ensino secundário beneficiariam da aplicação das metodologias de comissionamento. Da análise da Tabela 37 é possível afirmar que existe uma relação clara entre os vários parâmetros estudados: um período de construção mais recente implica um menor potencial desaproveitado e uma atribuição de uma categoria de retro comissionamento mais favorável. Contudo, a realidade leva-nos a concluir que o potencial de poupança é elevado e que o PRC é altamente recomendado. De referir que o potencial de poupança está relacionado com os custos de exploração das instalações.

Tabela 37 - Resumo da avaliação aos casos de estudo I, II, III, IV e V

Período de construção	Caso de estudo	Potencial de poupança (%) <sup>10</sup>	Potencial de poupança [€/ano]	Categoria <sup>11</sup>	Consequência
2007-2009	I	72%	13.393	1	Obrigatório aplicar retro comissionamento
2008-2010	II	63%	12.972	2	Muito aconselhável aplicar retro comissionamento
	III	62%	13.470		
2009-2011	IV	49%	11.272		
	V	53%	5.645		

<sup>10</sup> Baseado na não aplicação do processo de comissionamento e análise da matriz M-PC

<sup>11</sup> Baseado no critério dos quartis e na análise da matriz M-PRC

Da tendência que existe em desaproveitar cada vez menos o potencial de poupança, leva a concluir que pode haver um esforço no sentido de melhorar os procedimentos e as metodologias aplicadas ao longo dos anos, talvez muito por culpa da deteção de erros que se cometeram em projetos anteriores e que se conclui que não devem ser cometidos da data em diante. Um conjunto de questões podem ser colocadas:

- *Quantos períodos de construção serão necessários para se tirar partido de todo o potencial de poupança?*
- *Será que o comissionamento se fosse aplicado logo em 2007, não iria evitar muitos problemas e não teria permitido que o patamar atual fosse de menor consumo e de maior poupança?*
- *Será necessário cometer todo um conjunto de erros no presente para não os cometer no futuro, quando à partida há possibilidade de os evitar?*

O melhor mesmo seria aplicar de imediato as metodologias de comissionamento, concretamente o processo de retro comissionamento, não se perca mais tempo em tentativa e erro.

De mencionar que se deparou com várias dificuldades no desenvolvimento e abordagem aos casos práticos. Aliás, analisando com especial atenção as matrizes de análise, M-PC e M-PRC, verifica-se que a resposta “Desconhece-se” surge várias vezes. Isto refletiu a incapacidade em obter informação válida sobre determinados assuntos: nem sempre os responsáveis pelas instalações e os técnicos residentes conseguiram transmitir informação. O desconhecimento alegado pelos responsáveis e o curto período de manutenção efetuado pelos técnicos atuais impossibilitaram a obtenção de repostas a questões importantes. O facto do acesso aos casos de estudo ter sido atribuído já numa fase relativamente adiantada do processo também impossibilitou uma abordagem mais profunda na maioria dos casos.

É importante que se compreenda também que os valores de poupança calculados têm por base estudos realizados nesta área, e em virtude de serem valores médios e dependerem de tantas variáveis, devem ser vistos apenas como indicadores. Isto é um dado muito relevante, porque implica que os valores de poupança que não se aproveita, apresentados na Tabela 37, sejam encarados também como indicadores e não como dados adquiridos.

O trabalho desenvolvido permite dar resposta a algumas questões:

- *O comissionamento é benéfico para todos os edifícios?*

Não, nem todos os edifícios podem beneficiar com o comissionamento. Edifícios mais antigos com sistemas de aquecimento mais simples têm dificuldade em obter do comissionamento as suas vantagens. Importa precisar que quando se fala em edifícios antigos não quer dizer que tenham sido construídos há mais de 20 anos atrás, até porque entre a década de 90 e 2000 na Europa já se construíam edifícios complexos, com sistemas de controlo integrados. São então considerados edifícios antigos aqueles que são dotados de sistemas de controlo simples e sem autómatos, que na maioria dos casos só são capazes de aquecer.

No entanto, atualmente os edifícios são compostos por sistemas mais complexos, sistemas integrados que resultam em custos crescentes de energia. Nestes casos é fundamental otimizar o funcionamento dos sistemas, preparando de forma adequada todos os procedimentos de

operação e manutenção. A solução para estes edifícios, onde se inserem os estabelecimentos de ensino secundário, é a implementação do comissionamento. Para o caso dos edifícios existentes recomenda-se a adoção de medidas de retro comissionamento.

- *Porquê pagar pelo comissionamento? Quais os benefícios?*

A experiência mostra que, na realização de um projeto, qualidade, custos e prazos estão de tal forma interligados que a atuação sobre um deles vai condicionar os demais. Sendo o comissionamento uma abordagem que visa melhorar a qualidade do edifício, necessariamente reduzirá os custos e contribuirá para o cumprimento dos prazos. Cada vez mais proprietários de edifícios começam a perceber que o comissionamento pode trazer inúmeros benefícios para a globalidade das instalações, aliás, os custos operacionais de um edifício comissionado podem ser até 8 a 20% inferiores em comparação com os custos operativos dos edifícios que nunca foram alvo do processo. Investir um pouco mais nas fases iniciais dos projetos pode muito bem revelar-se numa poupança considerável para os anos procedentes.

Os benefícios do processo de comissionamento incluem:

- Redução dos custos operacionais
- Melhoria da QAI e conforto dos ocupantes
- Redução do número de pedidos de alterações
- Aumento da vida útil dos equipamentos
- Redução do absentismo
- Redução dos problemas com os períodos de garantia
- Documentação melhorada e atualizada
- Melhoria na formação dos técnicos de O&M
- Aumento da eficiência das instalações

O comissionamento pode ser visto como a ferramenta ideal para cumprir os vários objetivos que a Parque Escolar define para o seu âmbito de atuação, tal é a semelhança entre o que esta preconiza e os benefícios proporcionados pelo processo de comissionamento:

- Soluções duradouras em termos físicos, ambientais e funcionais, de modo a garantir baixos custos de gestão e de manutenção;
- Os equipamentos devem cumprir requisitos de eficiência energética procurando índices de consumo de energia mais baixos quanto possível;
- A escolha dos sistemas e equipamentos e a gestão destes deve seguir critérios que procurem a maximização da eficiência energética;
- O custo com a manutenção e exploração deve ser o mais reduzido possível, tal como as emissões de GEE.

Seria muito pertinente poder implementar o processo e avaliar o comportamento dos estabelecimentos escolares durante um período de tempo suficientemente grande que permita concluir sobre poupanças energéticas e redução de custos efetivos. Todavia, e apesar de uma abordagem deste tipo não ter sido efetuada, fica bem patente todas as potencialidades do processo de comissionamento e tudo aquilo que ele pode oferecer quando implementado adequadamente e no seu âmbito mais alargado.





## Capítulo 6 – Trabalhos futuros

---

O estudo da temática do comissionamento tem um carácter muito abrangente, contudo, é um assunto que ainda é relativamente recente aos olhos do setor da construção de edifícios e por isso mesmo ainda não se realizaram muitos estudos fora dos EUA, particularmente em Portugal. Há a plena consciência que a componente prática que foi desenvolvida pode ainda ser explorada no sentido de se aprofundar as análises aos casos de estudo e de envolver mais intervenientes na procura de mais informação e de informação com mais qualidade.

Após o término deste trabalho, tornou-se evidente que podem ser desenvolvidos vários estudos no sentido de validar e, principalmente, ajustar as conclusões obtidas.

Uma parte importantíssima relacionada com a componente prática desta dissertação tem que ver com a atribuição dos graus de importância às diferentes fases do processo de comissionamento e às questões que compõe as diferentes matrizes de análise. Estes graus de importância foram atribuídos com base numa análise semi-empírica, tal como mencionado ao longo do documento. Esta análise semi-empírica tornou-se no único método possível de adotar pois uma avaliação prática do género da que se efetuou, nunca antes foi executada. Daqui surge a necessidade de se explorar esta temática com o intuito de regular os resultados obtidos.

Como trabalhos futuros sugere-se, com base num estudo de acompanhamento de vários edifícios escolares durante um período de 3 a 4 anos:

- O desenvolvimento de uma metodologia consistente de atribuição de graus de importância;
- A análise das implicações provenientes da eficiência dos próprios sistemas do edifício, que se poderão refletir nos consumos energéticos;
- A avaliação do impacto dos processos de comissionamento e retro comissionamento nos consumos e poupanças dos edifícios, com a obtenção de valores reais (e não só indicadores);
- A comparação em termos de custos de investimento e retorno de casos onde o método não se aplica e outros onde se implementam medidas de retro comissionamento.

O potencial das metodologias de comissionamento já foi extraído em inúmeros casos, quando corretamente aplicadas. Resta agora confirmar todos os benefícios inerentes para o caso de edifícios em Portugal, particularmente as escolas secundárias. Recomenda-se que este trabalho seja aprofundado, e que se possa analisar estes 5 casos de estudo sobre as duas perspetivas adotadas, só assim se poderão validar as principais conclusões alcançadas.



## Referências

---

- [1] M. G. G. Custódio, “Eficiência Energética em Edifícios Escolares,” Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- [2] British Petroleum, “BP Statistical Review of World Energy 2014,” Reino Unido, 2014.
- [3] World Business Council for Sustainable Development, “Energy Efficiency in Buildings : Transforming the Market Energy,” 2009.
- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, 2008.
- [5] Energy Star, “Facility Type : K – 12 Schools,” *Energy Star Building Manual*, no. November. pp. 1–18, 2006.
- [6] S. M. B. Lopes, “Estudo e aplicação do Processo de Comissionamento a Sistemas de Ventilação de Edifícios,” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2011.
- [7] Pacific Gas and Electric Company, “Building commissioning guidelines,” Portland, 1992.
- [8] Oregon Office of Energy, “New Construction Commissioning Handbook for Facility Managers.” Portland, 2000.
- [9] Federal Energy Management Program, “Commissioning for Federal Buildings Guidebook and e-learning,” *National Conference on Building Commissioning*. PECL, 2010.
- [10] WBDG, “Building Commissioning.” [Online]. Available: <http://www.wbdg.org/project/buildingcomm.php>. [Accessed: 12-Mar-2015].
- [11] L. C. F. Domingues, “Estudo sobre comissionamento de edifícios comerciais monousuários e o Gerenciamento de Facilidades,” São Paulo, 2008.
- [12] “Missão e Objetivos | Parque Escolar, E.P.E.” [Online]. Available: <http://www.parque-escolar.pt/pt/empresa/missao-e-objetivos.aspx>. [Accessed: 20-Mar-2015].
- [13] “Objetivos | Parque Escolar, E.P.E.” [Online]. Available: <http://www.parque-escolar.pt/pt/programa/objetivos.aspx>. [Accessed: 20-May-2015].

- [14] J. C. Visier and AIE-ECBCS, "Annex 40: Commissioning tools for improved energy performance," 2004.
- [15] E. Mills, "Building Commissioning: A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions," Berkeley, 2009.
- [16] E. T. Lillie, "What we have learned from 20 years of HVAC system commissioning BT - 2012 ASHRAE Annual Conference," 2012, vol. 118, no. PART 2, pp. 122–132.
- [17] J. D. Coleman and G. A. Coleman, "Commissioning on Purpose," no. October, pp. 1–13, 2004.
- [18] A. F. G. Ribeiro, "Comissionamento de Edifícios Novos," Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- [19] *Pré Norma Portuguesa - Requisitos para implementar adequadamente o processo de comissionamento de sistemas de AVAC&R.* 2012.
- [20] E. Mills, H. Friedman, T. Powell, N. Bourassa, D. Claridge, T. Haasl, and M. A. Piette, "The Cost-Effectiveness of Commercial-Buildings Commissioning - A Meta-Analyses of Energy and Non-Energy Impacts in Existing Buildings and New Construction in the United States," 2004.
- [21] M. Hammond, "Evolution of Commissioning within a School District : Provider and Owner/Operator Perspectives," *Natl. Conf. Build. Comm.*, pp. 1–9, 2008.
- [22] GSA, "The building commissioning guide," *GSA Public Build. Serv.*, 2005.
- [23] ASHRAE, "ASHRAE GUIDELINE 0-2005 The Commissioning Process," vol. 8400, 2005.
- [24] PECL, "Establishing Commissioning Costs," 2000. [Online]. Available: [http://labs21.lbl.gov/DPM/Assets/PECL\\_newconst\\_commissioning\\_costs.pdf](http://labs21.lbl.gov/DPM/Assets/PECL_newconst_commissioning_costs.pdf).
- [25] E. Mills and P. Mathew, "Monitoring-Based Commissioning: Benchmarking Analysis of 24 UC/CSU/IOU Projects," California, 2009.
- [26] Portland Energy Conservation and P. E. Conservation, "Retrocommissioning Handbook for Facility Managers," *Oregon Off. Energy*, no. March, 2001.
- [27] J. Poulos, "Existing building commissioning," *ASHRAE J.*, vol. 49, no. 9, pp. 66–68.
- [28] F. Group, "Adopting the Commissioning Process for the Successful Procurement of Schools," California, 2003.
- [29] ASHRAE, "ASHRAE GUIDELINE 1.1-2007 HVAC&R Technical Requirements for the Commissioning Process," 2007.
- [30] WBDG, "Document Compliance and Acceptance." [Online]. Available: [http://www.wbdg.org/project/doc\\_comp.php](http://www.wbdg.org/project/doc_comp.php). [Accessed: 02-May-2015].
- [31] PECL, "A practical guide for commissioning existing buildings," Portland, 1999.

- [32] O. of C. and F. Management, "Retro-Commissioning Process Manual," Washington, 2014.
- [33] P. Escolar, "Manual de Projeto Instalações Técnicas," 2008. [Online]. Available: [http://www.dgae.mec.pt/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=15446&folderId=1301159&name=DLFE-77402.pdf](http://www.dgae.mec.pt/c/document_library/get_file?p_l_id=15446&folderId=1301159&name=DLFE-77402.pdf).
- [34] R. O. Ágústsson, "Building Commissioning," DTU Management, 2010.
- [35] L. C. F. Wong and L. K. H. Chow, "Building Commissioning - A Perspective and Development in Hong Kong," pp. 1–11.
- [36] N. Nakahara, "Japanese Vision of Commissioning Process and Asian View," pp. 1–10, 2004.
- [37] N. Nakahara, "Promoting Commissioning Process in Japan," pp. 1–14, 2006.
- [38] T. I. Hoel, P. V. Novakovic, B. Skjulsvik, and P. Tiller, "Implementation of Partial Initial Commissioning During the Elaboration and Construction Phase," 2004.
- [39] D. Claridge, M. Liu, and W. Turner, "Commissioning of Existing Buildings-State of the Technology and it's Implementation," 2003.
- [40] D. da República, *Despacho (extrato) nº 15793-G/2013*, no. 32. 2013, pp. 32–35.
- [41] N. L. S. D. Guide, "Commissioning the Building," *Natl. Lab. Sustain. Des. Guid.*, 2002.



## Anexos

### Anexo A – Projetos de comissionamento a nível internacional

No seguimento do capítulo 2, da subsecção 2.1.3, informa-se o leitor, de forma mais detalhada, sobre os vários projetos na área do comissionamento à escala internacional. Atente-se na Tabela 38.

Tabela 38 - O estado de desenvolvimento e os projetos do PC a nível internacional [6], [14], [18]

Canadá	
Em desenvolvimento	Encontra-se em desenvolvimento um programa nacional de retro comissionamento com a participação de agências governamentais e energéticas. Este programa inclui ainda o desenvolvimento de guias e ferramentas que facilitem a implementação do processo e abrange cerca de 20 projetos.
República Checa	
Em implementação	Uma equipa da <i>Czech Technical University</i> , CTU, em Praga, está a implementar um moderno sistema de otimização de desempenho de edifícios, incluindo controlo inteligente do subsistema AVAC em edifícios de baixa energia.
Finlândia	
Em desenvolvimento	O comissionamento é um termo recente na Finlândia. Até há pouco tempo, algumas atividades relacionadas com o comissionamento eram desenvolvidas principalmente pelos empreiteiros como parte do seu processo de garantia de qualidade. A partir de 1993 desenvolveram-se ferramentas e procedimentos para fazer face a preocupações como a eficiência energética. Em 2002 lançou-se o programa CUBE com o objetivo de promover e melhorar o desempenho dos edifícios com recurso à implementação de projetos de investigação no âmbito do comissionamento com especial destaque para a QAI e para a eficiência energética. Este programa desenvolveu métodos e ferramentas que podem ser usados no PC durante todo o ciclo de vida do edifício, e que foram testados em vários tipos de edifícios: escolas, edifícios residenciais, escritórios, etc.
China	
Em estudo	Os avanços baseiam-se em casos de estudo que se iniciam na conceção do edifício e se desenvolvem durante a construção e operação, verificando-se assim desenvolvimentos ao nível do comissionamento de sistemas AVAC para edifícios novos e existentes. Existem ainda estudos em desenvolvimento para gestão de energia e controlo de sistemas. Wong, em 2003, apresentou a sua perspetiva e conclusões sobre o atual estado de estudo e desenvolvimento do comissionamento em Hong Kong. [35]

<b>Japão</b>	
Em implementação	<p>A <i>Building Services Commissioning Association</i>, BSCA, foi inaugurada em 2004 e esta organização sem fins lucrativos promove seminários sobre tecnologias de comissionamento, promove ainda a interação entre vários países asiáticos sobre o desempenho dos edifícios e a investigação e desenvolvimento de guias e recursos a aplicar ao PC. O conceito do comissionamento já é muito comum entre projetos de edifícios. Em 2004, Nakahara analisou as atividades de comissionamento em desenvolvimento no Japão e nos países asiáticos em comparação com os EUA e o Reino Unido e apresentou os vários projetos que foram desenvolvidos e nesse mesmo ano, é desenvolvida uma diretiva de comissionamento, a SHASE 2004. [36] Já em 2001, Nakahara havia descrito as atividades de comissionamento ao desenvolver orientações para aplicação do processo, relatando ainda experiências sobre processos de comissionamento inicial e comissionamento contínuo em edifícios. Em 2006, o mesmo autor prepara o conceito do comissionamento sobre orientações da norma SHASE e desenvolve ferramentas de gestão que se aplicam no processo. [37]</p>
<b>Holanda</b>	
Implementação na fase de aceitação do edifício ou sistema	<p>Existe um consenso sobre a importância real do comissionamento, contudo, apenas é implementado na fase de aceitação do edifício ou sistema. Há ainda um forte interesse por parte dos proprietários de grandes edifícios na realização de testes funcionais a vários sistemas do edifício. Em 2001, Ramsak apresentou uma matriz de controlo da qualidade para o comissionamento de sistemas AVAC e em 2002 apresentou o posicionamento relativo do comissionamento, bem como a sua garantia de qualidade e certificação.</p>
<b>Noruega</b>	
Em estudo	<p>“Comissionamento para Eficientes Operações Energéticas Durante a Vida dos Edifícios” foi um estudo desenvolvido com o intuito de contribuir para a implementação do comissionamento de sistemas AVAC em edifícios. O objetivo passava por normalizar o processo na construção, operação e manutenção de sistemas AVAC. Hoel resumiu, em 2003, o estado do comissionamento no país e em 2004 desenvolve métodos manuais para a implementação parcial do comissionamento nas fases de projeto de execução e de construção. [38] Ainda em 2004, Hoel Novakovic comparou a eficiência energética norueguesa obtida com o recomissionamento com o processo de comissionamento contínuo.</p>
<b>EUA</b>	
Em desenvolvimento	<p>Existe uma elevada exigência na obtenção de recursos que facilitem o PC, incluindo informação sobre custo-benefício. Neste sentido desenvolveram-se metodologias para quantificar os benefícios do processo. Apesar de não existirem normas oficiais para a quantificação dos custos e benefícios, foram</p>



	<p>levados a cabo vários programas no noroeste do Pacífico, na Califórnia e em Nova Iorque. Em 2003, Claridge apresentou uma visão global das atividades de comissionamento nos EUA, conferindo particular destaque para os edifícios existentes. [39] Atualmente existem guias do processo como o <i>Guideline 0-2005: The Commissioning Process</i>, <i>Guideline 1.1-2007: HVAC&amp;R Technical Requirements for the Commissioning Process</i> e <i>Guideline 0.2P: The Commissioning Process for Existing Systems and Assemblies</i> desenvolvidos pela ASHRAE.</p>
<b>Portugal</b>	
Em estudo	<p>Atualmente encontra-se em vigor os ensaios de receção descritos no RECS (2013), mais concretamente no despacho 15793-G/2013. [40] Num futuro próximo, os ensaios de receção poderão vir a ser substituídos na totalidade pelo PC.</p>
<b>Suécia</b>	
Em implementação	<p>Em 2001 Eriksson descreveu o PC na Suécia como normalmente focado em testes de aceitação durante a entrega das instalações e só alguns equipamentos é que foram submetidos a esses testes. Existia ainda a ação de um agente de fiscalização que inspecionava o edifício para verificar se tudo estava completo e concluído. Atualmente, esse fiscalizador, a autoridade de comissionamento, entra no processo numa fase inicial do projeto, possibilitando um controlo de maior qualidade aos sistemas. Os próprios testes de desempenho já se efetuam a sistemas completos.</p>
<b>França</b>	
Em desenvolvimento	<p>Em 2001, Visier dá uma visão do panorama geral em França relativamente ao comissionamento. Ele descreve os documentos e abordagens para o comissionamento de sistemas de ventilação.</p>
<b>Reino Unido</b>	
Em desenvolvimento	<p>Por intermédio da <i>Chartered Institution of Building Services Engineers</i>, CIBSE, foram desenvolvidas várias diretrizes e orientações sobre o comissionamento.</p>

## Anexo B – Fluxograma do Processo de Comissionamento

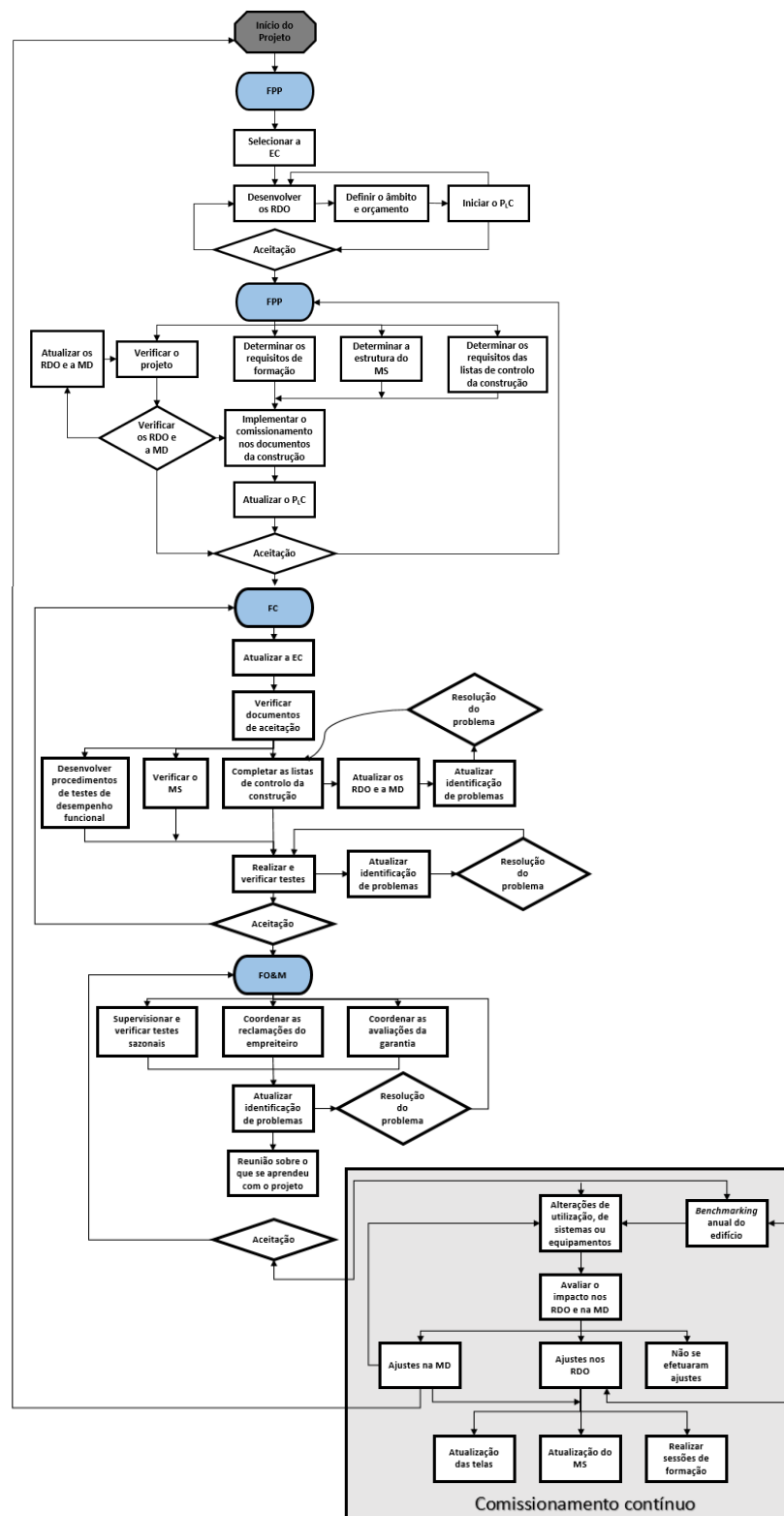


Figura 31 - Fluxograma do PC. [23]

## Anexo C – Fluxograma do Processo de Retro Comissionamento

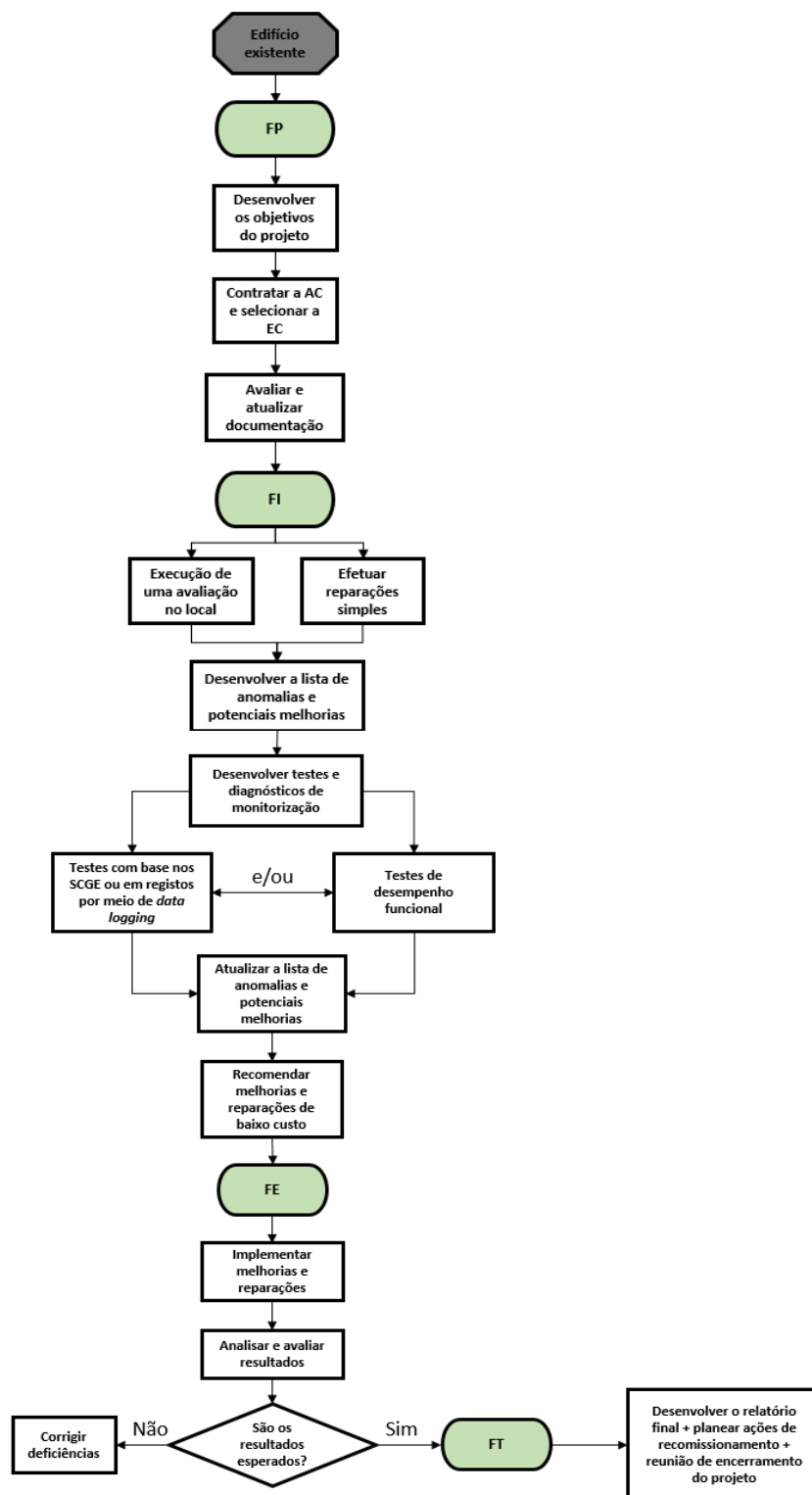


Figura 32 - Fluxograma do PRC. [31]

## Anexo D – Requisitos do Dono de Obra, RDO

### D.1. Requisitos que constam do RDO – sistemas AVAC&R

Relativamente aos sistemas AVAC&R, os requisitos que devem constar do documento RDO devem abordar os seguintes tópicos [19]:

- a) Deve ser feita uma estimativa relativamente ao capital investido, ao tempo de vida útil dos equipamentos, aos custos de condução, manutenção e exploração por forma a justificar a seleção dos sistemas. Deve também ser deliberado o tempo necessário para cada projeto, construção, arranque completo, ensaios e ajustes dos sistemas;
- b) Elaboração de uma lista de componentes e sistemas a realçar no PC e no orçamento;
- c) Descrição do tipo de documentos necessários para a correta instalação, arranque, condução, reparação e manutenção durante o tempo de vida útil da instalação;
- d) Predefinição de diretivas do dono de obra sobre as quais os sistemas, componentes ou tarefas de condução terão requisitos. As diretivas podem ser do tipo de indicar um fornecedor para um determinado equipamento por possuir já um conhecimento sobre a marca ou serviço prestado;
- e) Identificar e documentar limitações pré-existentes ou novas restrições para os sistemas;
- f) É necessário compreender como os utilizadores, nomeadamente os de curta permanência nas instalações e visitantes, definem o conceito de conforto e a qualidade do ar interior;
- g) Compreender como os ocupantes de longa permanência definem o conceito de conforto e de qualidade do ar interior, de controlo individual e de interação com o pessoal de condução e manutenção. Se for caso disso, devem ser salvaguardadas condições ambientais para animais, plantas ou processos. É necessário documentar horários de ocupação para dias normais, feriados e dias específicos, número e tipo de ocupantes e ainda níveis de atividade;
- h) Documentar o nível de instrução do pessoal do dono de obra e proceder à formação adequada de acordo com as tecnologias de AVAC&R a instalar;
- i) Listar os requisitos para a garantia dos diversos equipamentos e sistemas, incluindo a data de início da garantia, o período de duração e as condições da mesma;
- j) Registar objetivos para os valores de referência que serão utilizados mais tarde para comparação e otimização dos sistemas. Estes requisitos implicam o conhecimento sobre a utilização da energia, a eficiência, o desempenho e a capacidade dos equipamentos e sistemas;
- k) Documentar a frequência adequada de amostras a serem usadas para os diversos equipamentos ou sistemas durante a FPE e a FC. Por exemplo, deve estipular-se que x% das listas de controlo são verificadas durante a visita à obra ou que durante os ensaios dos sistemas y% dos *chillers* serão verificados;
- l) Descrever de forma específica como um sistema deve ser conduzido e mantido, incluindo os procedimentos de intervenção do pessoal de condução e manutenção perante a identificação das causas e a resolução dos problemas. Deve também ser documentada a tolerância admissível na condução dos sistemas, por exemplo, a temperatura no espaço não deve variar  $\pm[x]^{\circ}\text{C}$  ou o *chiller* deve funcionar a  $\pm[xx]$  kW/kW à carga máxima;

- m) Especificar a acessibilidade aos equipamentos, como por exemplo o espaço para a manutenção recomendado pelo fabricante de determinado componente;
- n) Documentar as expectativas do dono de obra para a qualidade da construção e descrever o nível de qualidade dos materiais utilizados enquadrando-o nos custos relativos ao tempo de vida útil dos equipamentos;
- o) Definir os objetivos de eficiência energética que serão vistos como uma referência para as equipas de projeto e de condução e manutenção;
- p) Documentar o modo como o dono de obra define eficiência e sustentabilidade. Em alguns projetos podem existir requisitos específicos para obter uma determinada classificação energética, como a LEED por exemplo;
- q) Documentar o grau de flexibilidade dos sistemas a alterações, expansões ou novas localizações em função de necessidades emergentes;
- r) Integrar os sistemas de AVAC&R noutros sistemas como os sistemas de incêndio, de segurança, de controlo da iluminação natural, em função do que os regulamentos e normas exigem. Deve indicar-se que tipo de normas foram utilizadas e que estratégias de aplicação das mesmas é que foram adotadas;
- s) Os sistemas AVAC&R devem ser acompanhados de uma descrição minuciosa no sentido de salvaguardar a saúde, higiene e o ambiente interior das instalações. Para o efeito deve registar-se: localização das admissões de ar novo, exaustões localizadas, materiais em contacto com o ar, filtragem, renovação de ar dos espaços, produção de químicos e poluentes, transferência de poluentes do exterior para o interior do edifício;
- t) Documentar os limites acústicos e de vibrações;
- u) Documentar a implantação de equipamentos por forma a satisfazer as necessidades dos ocupantes, tais como a localização de sondas, interruptores, sistemas de corte de emergência;
- v) Descrição da necessidade de segurança dos sistemas relativamente à sua instalação e utilização;
- w) Descrição da interface dos sistemas com o pessoal de condução e manutenção e com os ocupantes para que se possam manter as condições desejadas;
- x) Descrição relativa ao posicionamento dos principais sistemas AVAC&R e respetiva exposição dos seus componentes no interior do edifício, como condutas ou difusores, e no exterior do mesmo, caso das torres de arrefecimento, UTA's e *chillers*;
- y) Descrever as restrições inerentes à dimensão dos equipamentos a serem transportados e instalados;
- z) Documentar de forma clara a possibilidade de acesso remoto do exterior aos sistemas de controlo do edifício, GTC. Como os sistemas de controlo são uma parte importante do projeto, instalação e condução dos sistemas, deve definir-se o nível de controlo e o grau de operacionalidade entre sistemas.

## D.2. Exemplo de um índice de um RDO

O documento dos RDO corresponde a um memorando dos requisitos do edifício e das instalações, nomeadamente os relativos ao projeto, tipologias/funcionalidades dos espaços, eficiência requerida, documentação, programa de ensaios, programa de formação, com o objetivo de assegurar as funções exigidas. A Figura 33 apresenta um exemplo de um modelo de um índice com algumas notas para melhor compreensão de alguns capítulos.

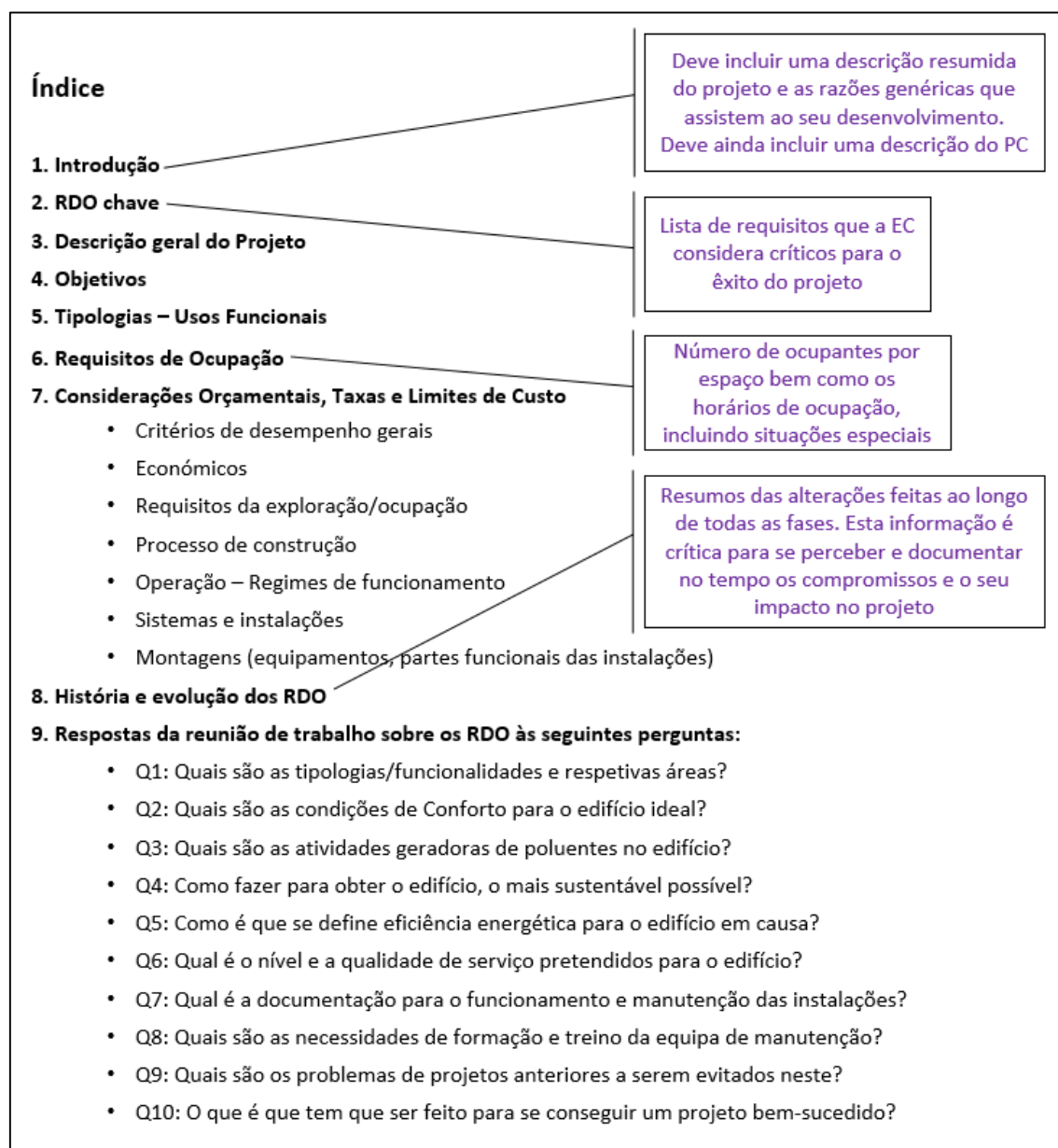


Figura 33 - Índice do RDO. [19]

## Anexo E – Memória Descritiva, MD

### E.1. Requisitos que constam da MD – sistemas AVAC&R

Relativamente aos sistemas AVAC&R, a MD deve incluir a seguinte informação:

- a) Descrição de cada opção de projeto considerada, nomeadamente no que diz respeito ao tipo de sistema de AVAC&R, fonte de calor, sistemas de refrigeração, armazenamento térmico, cogeração, fontes de energia alternativa, abordagem da QAI e interação do sistema AVAC&R com a envolvente do edifício, com a iluminação e com outros sistemas;
- b) Descrição do sistema de automação do edifício, incluindo os níveis de acesso dos utilizadores e as capacidades operacionais dos vários sistemas;
- c) Razões pela opção da seleção final dos sistemas de AVAC&R incluindo informação de suporte baseada em regulamentação, normas, critérios de conceção<sup>12</sup> e diretivas do dono de obra;
- d) Pressupostos de desempenho funcionais dos sistemas e das instalações;
- e) Pressupostos de cálculo e dimensionamento incluindo fatores de simultaneidade, fatores de segurança, redundância, utilização de espaços (prevista e potencial), taxas de ventilação, cargas térmicas de equipamentos, de iluminação, densidade de potência, características dos envidraçados e dos sombreamentos, isolamentos térmicos e transmissão de vapor, refletividade da envolvente, densidade dos materiais, preços de energia elétrica e combustíveis, fontes de poluição e requisitos de pressurização;
- f) Métodos de cálculo e ferramentas informáticas utilizadas no projeto, incluindo modelos de análise e simulação (cargas de aquecimento e arrefecimento, dimensionamento de redes de condutas e de tubagens, utilização de energia, estratégias de controlo) e dimensionamentos realizados por fornecedores de equipamentos;
- g) Condições ambientais, incluindo condições interiores e exteriores de projeto e qualidade do ar, hierarquização de pressão entre os espaços interiores, velocidades do ar e requisitos acústicos;
- h) Limitações existentes tais como financeiras e constrangimentos de espaço;
- i) Marcas e modelos de referência dos equipamentos previstos;
- j) Pressupostos operacionais incluindo funcionalidade e utilização dos espaços, horários (de ocupação e de funcionamento), diversidade, orçamento anual para operação e manutenção e a competência do pessoal;
- k) Cálculos, incluindo dados de entrada e de saída de programas de simulação ou cópias de cálculos manuais para mostrar a progressão desde os pressupostos de cálculo até aos documentos da FC;
- l) Descrição pormenorizada dos sistemas e instalações. Genericamente descreve como o projetista pretende cumprir os RDO para os sistemas de AVAC&R e como os RDO são atualizados durante a FPE. A descrição deve incluir os principais sistemas e equipamentos como *chillers*, caldeiras, UTA's e distribuição de água e de ar, e ainda a sequência de operações.

---

<sup>12</sup> Critérios de conceção como desempenho energético, qualidade do ar interior, fiabilidade, facilidade de manutenção, custo inicial, custo de ciclo de vida, fontes de energia preferenciais.

- m) Leis, regulamentos, normas, guias e outras referências que influenciaram o projeto dos sistemas de AVAC&R;
- n) Sugestões e diretivas do dono de obra que influenciaram o projeto dos sistemas de AVAC&R;
- o) Nível de realização dos RDO, incluindo uma lista explicativa de como cada um dos requisitos foi tratado nos documentos da construção. [19]

## E.2. Exemplo de uma MD

O conteúdo da MD é variável, de projeto para projeto e de um sistema para o outro, mas no geral deve apresentar uma justificação de que as soluções propostas cumprem as exigências de conforto interior, de eficiência energética e de segurança, uma descrição dos sistemas e montagens, a explicação do cálculo da potência térmica instalada e os esquemas com princípios de funcionamento das instalações. A Figura 34 ilustra um exemplo de uma estrutura que permita abordar estas questões supramencionadas.

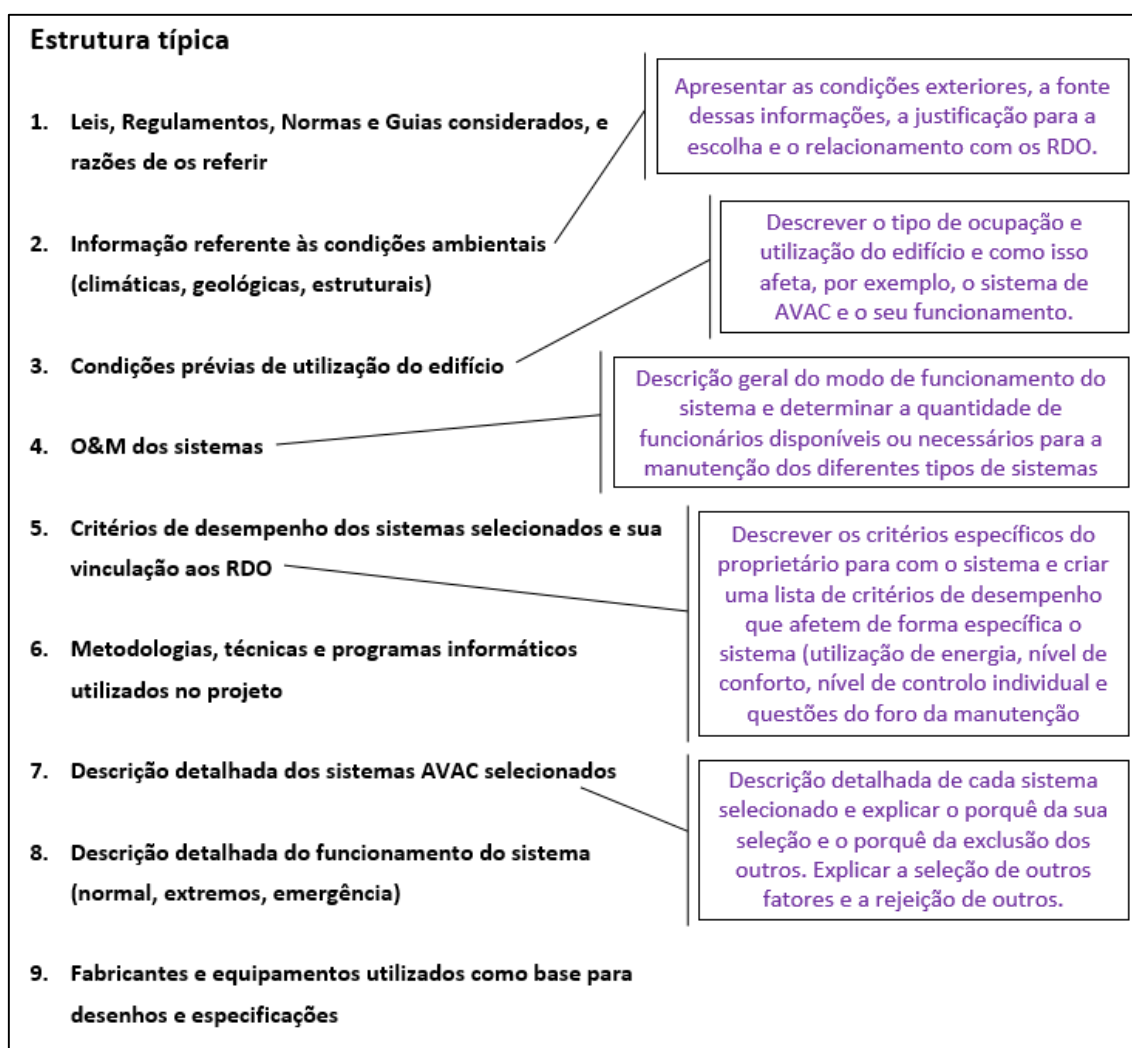


Figura 34 - Estrutura típica de uma MD. [19]



## Anexo F – Plano de Comissionamento, P<sub>LC</sub>

### F.1. Informação a incluir/atualizar no P<sub>LC</sub> – sistemas AVAC&R

O P<sub>LC</sub> deve ser atualizado na FPE e incluir toda a informação adicional produzida nesta fase, assim, devem ser adicionados ou atualizados [19]:

- Sistemas e instalações a serem verificados e ensaiados;
- Calendarização das atividades do PC da FC e da FO&M;
- Regras e responsabilidades de novos membros da equipa de comissionamento;
- Toda a documentação e requisitos dos relatórios da FC e da FO&M, incluindo procedimentos e modelos;
- Protocolos de comunicação das FC e FO&M;
- Procedimentos do PC das FC e FO&M;
- Os acontecimentos relevantes a inserir na calendarização devem incluir as reuniões de preparação do concurso da obra, reuniões da equipa de comissionamento, sessões de formação, submissão para aceitação de desenhos de pormenor, do manual de sistemas, ensaios especiais, ou inspeções oficiais, ensaios, períodos de ensaio, conclusão, ocupação, ensaio sazonal, submissão para aceitação do relatório inicial do PC, revisão das garantias dois meses antes da sua expiração, RRLA e relatório final do PC;
- As regras e responsabilidades individuais dos membros da equipa de comissionamento, incluindo quaisquer novos membros, durante a FC e FO&M devem ser claramente definidas com base, unicamente, na sua experiência e conhecimentos. Os acordos profissionais e de fornecimento de serviços devem ser alterados para refletir o âmbito do trabalho;
- O PLC deve definir a documentação necessária para o PC na FC e FO&M. Isto implica especificar qual o formato, a informação sobre a frequência de aceitação e o prazo para ser submetido para aceitação e distribuição;
- Os protocolos de comunicação para serem utilizados durante a FC e FO&M devem ser claramente definidos no P<sub>LC</sub>, o que implica explicar como o fluxo de informação é coordenada, e distribuída e circulada entre os membros da equipa de comissionamento;
- Os procedimentos do PC para serem implementados durante as FC e FO&M devem estar claramente documentados no P<sub>LC</sub>, incluindo:
  - Revisão dos documentos submetidos para aceitação;
  - Calendarização consolidada das reuniões;
  - Procedimentos para as visitas às instalações;
  - Identificação de questões, documentação, acompanhamento e resolução;
  - Preparação, implementação e acompanhamento de ensaios na FC;
  - As responsabilidades de cada membro da equipa;
  - Quem é o responsável pelos custos relacionados com a verificação e ensaios, incluindo as repetições de ensaios e a verificação de atividades;
  - Revisão e atualização do desenvolvimento do Manual dos Sistemas;
  - Programa de formação.
- Preparação, implementação e acompanhamento de ensaios na FO&M;

- Os requisitos de procedimento de testes desenvolvidos durante a FPE são de natureza geral, estrutura e complexidade, mas devem claramente transmitir o nível e a quantidade de testes exigido pelos fabricantes fornecedores.

O P<sub>L</sub>C deve ser atualizado na FC e incluir toda a informação adicional produzida nesta fase, assim, devem ser adicionados ou atualizados [19]:

- Procedimentos de ensaio e formulários desenvolvidos na FC;
- Integração das atividades do PC no planeamento da construção;
- Regras e responsabilidades da EC durante a FC, incluindo a identificação de novos membros;
- Identificação de técnicos para acompanhamento das atividades do PC de sistemas e instalações específicos com registo de funções e responsabilidades;
- Alterações aos canais e procedimentos de comunicação durante a FC.

Relativamente aos sistemas AVAC&R, o P<sub>L</sub>C deve registar acontecimentos relevantes que incluam [19]:

- a) Reunião de pré-projecto;
- b) Revisões do projeto, incluindo MD;
- c) Atualização da FPE;
- d) Reunião para seleção de fornecedores para a construção;
- e) Reuniões de pré-construção e de arranque de obra;
- f) Atualização da FC;
- g) Reuniões do PC;
- h) Revisão de materiais e equipamentos (incluindo equipamento de controlo), incluindo boletins de aprovação, instruções de condução e manutenção fornecidas pelos fabricantes;
- i) Entrega para aprovação dos desenhos de execução compatibilizados;
- j) Entrega para aprovação do Manual dos Sistemas (dentro de X dias após adjudicação da proposta);
- k) Estabelecimento de uma data para finalização do Manual dos Sistemas em função da complexidade do projeto;
- l) Entrega para aprovação dos diagramas com a arquitetura de funcionamento dos sistemas de controlo automático do edifício, GTC;
- m) Entrega para aprovação do *software* da GTC (X dias depois da aceitação (k));
- n) Implementação do plano de treino e formação;
- o) Listas de controlo da construção e seu seguimento;
- p) Ensaios de fábrica de equipamentos;
- q) Revisão da localização dos equipamentos;
- r) Desenvolvimento dos procedimentos de ensaio;
- s) Ensaios exigidos ao instalador como ensaios de fuga em condutas, ensaios de pressão nas tubagens, etc.;
- t) Aceitação inicial dos sistemas de controlo e automação do edifício, GTC;
- u) Relatório de verificação dos ensaios, ajustes e equilíbrio;

- v) Aceitação final dos sistemas de controlo e automação do edifício, GTC;
- w) Ensaio de funcionamento do sistema de AVAC&R;
- x) Entrega para aprovação do Manual dos Sistemas final;
- y) Formação do pessoal de operação e manutenção e dos ocupantes;
- z) Receção provisória dos sistemas de AVAC&R, incluindo o início dos prazos das garantias;
- aa) Projeto de relatório do PC;
- bb) Visitas ao edifício e suas instalações da AC durante o primeiro ano de funcionamento;
- cc) Formação adicional do pessoal de operação e manutenção e dos ocupantes;
- dd) Ensaio sazonais;
- ee) Ensaio e verificação das instalações ao X-mês da garantia;
- ff) Reunião de reflexão das lições aprendidas;
- gg) Relatório final do PC.

## **F.2. Exemplo de um índice de um P<sub>L</sub>C**

O P<sub>L</sub>C é um documento essencial para planear e realizar o PC. Fornece a todos os intervenientes a compreensão do que é essencial no PC e como aplica-lo. A Figura 35 apresenta um exemplo de um modelo de um índice.

## **Índice**

### **1. Visão Geral do P<sub>L</sub>C**

### **2. Descrição do PC**

### **3. FPP**

- Desenvolver os RDO
- Desenvolver P<sub>L</sub>C
- Acompanhamento das questões do PC

### **4. FPE**

- Rever e modificar as especificações do projeto
- Verificação da MD
- Atualização do P<sub>L</sub>C
  - Revisão dos projetos
  - Revisão Geral
  - Revisão de Coordenação
  - Revisão de campos específicos
  - Revisão das Especificações e outra Documentação
  - Comentários da Revisão dos projetos
- Desenvolvimento do documento dos Requisitos do contrato do PC
  - Participação de reuniões para concurso

### **5. FC**

- Condução de reunião prévia ao início da construção
- Listas de controlo da construção
- Formação
- Ensaaios

### **6. FO&M**

- Relatório final do PC
- Ensaaios sazonais
- Formação Contínua
- Revisão da Garantia
- Reunião das lições aprendidas

### **7. Informação de contactos**

### **8. Requisitos de Planeamento**

### **9. Apêndices**

- A – RDO
- B – MD
- C – Especificações do Projeto
- D – Estruturas de comunicação
- E – Funções e Responsabilidades
- F – Sistemas Comissionados
- G – Reunião preparatória do concurso
- H – Reunião prévia ao início da construção
- I – Revisão dos critérios de aceitação do projeto
- J – Revisão dos documentos de aceitação
- K – Questões do PC
- L – Listas de controlo da construção
- M – MS
- N – Ensaaios
- O – Formação
- P – Atas de reunião
- Q – Correspondência
- R – Revisão da garantia

*Figura 35 - Índice do P<sub>L</sub>C. [19]*

## Anexo G – Manual dos Sistemas, MS

### G.1. Informação a incluir/atualizar no MS – sistemas AVAC&R

O MS tem de ser verificado e atualizado convenientemente durante a aplicação do PC e como tal, à medida que surgem novas informações provenientes de documentação que vem sendo desenvolvida ou atualizada, esta deve constar do MS. Durante a FC, o MS deve ser atualizado com a seguinte informação [19]:

- Procedimentos dos testes de desempenho funcional e respetivos resultados;
- Planos de formação e registos da sua implementação;
- Relatórios dos documentos de aceitação desta fase;
- Atualização dos RDO;
- Atualização da MD;
- Atualização do P<sub>L</sub>C;
- Atualização da identificação de problemas;
- Desenvolvimento do relatório do PC.

Na fase final de aplicação do PC, FO&M, o MS sofre nova atualização e essa responsabilidade é transferida dos empreiteiros para os técnicos de operação e manutenção que têm como objetivo fundamental assegurar a fidelidade e relevância do documento em causa. Assim sendo, no início da FO&M e durante toda a vida das instalações deve haver a preocupação de incluir no MS [19]:

- Todos os dados e documentação que resultaram da conclusão das atividades do PC na FO&M;
- Procedimentos de manutenção atualizados e os respetivos cronogramas;
- Registo contínuo de operações em curso, bem como resultados de melhoria de desempenho e possíveis medidas tomadas para a otimização dos sistemas;
- Modificar as informações em conformidade com as alterações que vão sendo efetuadas a documentos como os RDO e a MD;
- Assegurar que os documentos de registo são atualizados com as mudanças de esquemas, de nomenclatura, de sistemas ou de montagens.

No que diz respeito particular aos sistemas de AVAC&R, o MS deve incluir a seguinte informação [19]:

- a) Tipo de fornecimento de energia do sistema ou equipamento;
- b) Produção de calor, incluindo caldeiras, unidades de ar quente, aquecedores a gás, óleo, equipamentos auxiliares e etc.);
- c) Produção de frio, incluindo chillers, torres de arrefecimento, compressores, condensadores, bombas de calor e etc.);
- d) Sistemas de distribuição, incluindo distribuição de ar, água e vapor, sistemas de exaustão especiais e etc.);
- e) Unidades terminais e compactas, como unidades de ar condicionado autónomas, baterias de ar, humidificadores, desumidificadores, unidades de recuperação de energia entre outras;

- f) Equipamento de instrumentação e controlo, como o exemplo de equipamento elétrico, eletrónico e pneumático bem como a sequência de operações;
- g) Outros sistemas e equipamentos de AVAC&R.

## **G.2. Exemplo de uma estrutura para um MS**

A Figura 36 apresenta um exemplo de uma estrutura modelo para um MS.

<b><u>Manual de Sistemas – Sistemas de AVAC</u></b>	
<b>Conteúdo do MS:</b>	
<b>1. Resumo</b>	
<b>2. RDO</b>	
<b>3. MD</b>	
<b>4. Relação de empreiteiros e contactos para situações de emergência</b>	
<b>5. Documentos de registo da construção</b>	
<b>6. Informação sobre equipamentos por secções específicas classificadas</b>	
• Especificações finais	
• Documentos de aceitação aprovados	
<b>7. Procedimentos para operação de sistemas e restrições</b>	
<b>8. Procedimentos de manutenção e planos de rotinas</b>	
<b>9. Conservação de registos de operação</b>	
<b>10. Valores de referência para desempenho e otimização</b>	
<b>11. Manuais de O&amp;M</b>	
<b>12. Informação e registos de Formação</b>	
<b>13. PC e resultados dos ensaios</b>	

*Figura 36 - Índice de um MS para sistemas de AVAC. [19]*

## Anexo H – Matriz de documentos do PC

A Tabela 39 apresenta os diversos documentos que devem ser desenvolvidos ao longo de cada uma das atividades do PC.

Tabela 39 - Matriz de toda a documentação desenvolvida no PC [23]

Fase	Documento	Pedido	Fornecido	Revisto/Aprovado	Usado	Notas
<b>FPP</b>	RDO	O&M, utilizadores, projetistas (?)	AC ou projetistas	Dono de obra	AC, projetistas	Os projetistas podem ainda não estar envolvidos
	P <sub>L</sub> C	Dono de obra, projetistas (?), AC	AC	Dono de obra	AC, dono de obra, projetistas	Os projetistas podem ainda não estar envolvidos
	Esboço do MS	O&M, AC	Dono de obra ou AC	Dono de obra	Projetistas	Pode ser incluído no RDO
	Esboço dos requisitos de formação	O&M, utilizadores, AC, projetistas	Dono de obra ou AC	Dono de obra	Projetistas	Deve ser incluído no RDO
	Identificação de problemas	AC	AC		AC, projetistas	
	Registo das anomalias	AC	AC	Dono de obra	Projetistas, dono de obra	
	Relatório do PC da FPP	AC	AC	Dono de obra	Dono de obra	Relatório do encerramento da fase
<b>FPE</b>	Atualização do RDO	O&M, utilizadores, projetistas	AC ou projetistas	Dono de obra	AC, projetistas	
	MD	Projetistas	Projetistas	Dono de obra, AC	Projetistas, AC	
	Especificações da construção relativamente ao PC	Projetistas, AC, dono de obra	Projetistas ou AC	Dono de obra	Empreiteiros, AC, projetistas	Também pode ser fornecido por representantes do dono de obra
	Desenvolvimento do rascunho do MS	Projetistas, AC, O&M, empreiteiro (?)	Projetistas ou AC	Dono de obra, AC	Projetistas, empreiteiros	Os empreiteiros podem ainda não estar contratados
	Especificações dos requisitos de formação	O&M, utilizadores, AC, projetistas	Dono de obra ou AC	Dono de obra	Projetistas	Os empreiteiros podem ainda não estar contratados
	Comentários à revisão de projeto	AC	AC	Dono de obra	Projetistas	

	Identificação de problemas	AC	AC		AC, projetistas	Relatório do encerramento da fase
	Registo das anomalias	AC	AC	Dono de obra	Projetistas, dono de obra	
	Relatório do PC da FPE	AC	AC	Dono de obra	Dono de obra	
FC	Atualização do RDO	O&M, utilizadores, projetistas	AC ou projetistas	Dono de obra	AC, projetistas, empreiteiros	
	Atualização da MD	Projetistas	Projetistas	AC, dono de obra	Projetistas, AC	
	Atualização do P <sub>L</sub> C	Projetistas, AC, dono de obra, empreiteiros	AC	AC, dono de obra, projetistas, empreiteiros	AC, dono de obra, projetistas, empreiteiros	
	Comentários da avaliação dos documentos de aceitação	AC	Projetistas	Projetistas	Empreiteiros	
	Planos de coordenação dos sistemas	Empreiteiros, projetistas	Empreiteiros	AC, projetistas	Empreiteiros, AC	
	Listas de controlo da construção	AC, empreiteiros, projetistas	AC	AC, projetistas	Empreiteiros	
	Procedimentos de testes	AC, empreiteiros, projetistas	AC	AC, projetistas	Empreiteiros	
	Relatório dos dados dos testes	Empreiteiros	AC	AC, dono de obra	Empreiteiros	
	Reuniões e atas do PC	AC	AC	Todos	Todos	
	Planos de formação	Projetistas, AC, O&M, empreiteiros	Empreiteiros ou AC	Dono de obra, AC	O&M, utilizadores, empreiteiros	
	MS	Projetistas, AC, O&M, empreiteiros	Empreiteiros	Dono de obra, AC	O&M, utilizadores	
	Identificação de problemas	AC	AC		AC, projetistas, empreiteiros	Antes da ocupação
	Registo das anomalias	AC	AC	Dono de obra, projetistas	Projetistas, dono de obra, empreiteiros	
	Relatório preliminar do comissionamento na construção	AC	AC	Dono de obra	Dono de obra	
	Relatório do PC da FPE	AC	AC	Dono de obra	Dono de obra	



Avaliação do impacto no desempenho energético de edifícios sujeitos às metodologias de comissionamento:  
caso particular de edifícios escolares

<b>FO&amp;M</b>	Atualização do RDO	O&M, utilizadores, projetistas	AC ou projetistas	Dono de obra	AC, projetistas, empreiteiros	
	Atualização da MD	Projetistas	Projetistas	AC, dono de obra	Projetistas, AC	
	Programa de manutenção	O&M, empreiteiros, AC	Dono de obra ou AC	Dono de obra, AC	O&M, utilizadores	
	Procedimentos de testes	Empreiteiros, AC, O&M, projetistas	AC	Projetistas, AC	Empreiteiros	
	Relatório dos dados dos testes	Empreiteiros	AC	AC, dono de obra	Empreiteiros, O&M	
	Identificação de problemas	AC	AC		AC, projetistas, dono de obra, empreiteiros	
	Registo das anomalias	AC	AC	Dono de obra	Projetistas, dono de obra, empreiteiros	
	Relatório do PC	AC	AC	Dono de obra	Dono de obra	Relatório final
	Plano de Recomissionamento	O&M, utilizadores, AC	AC ou dono de obra	Dono de obra	Dono de obra	

## **Anexo I – Responsabilidades dos intervenientes no PC**

Seguem-se as responsabilidades fundamentais dos principais intervenientes da implementação do PC.

### **a) Dono de obra**

O dono de obra ou os seus representantes devem garantir que as suas intenções e os seus requisitos são respeitados para que estes se possam refletir no final do PC. As responsabilidades fundamentais do dono de obra consistem em [28]:

- Comunicar claramente as suas expectativas e desejos para o projeto;
- Estar envolvido nas avaliações do projeto;
- Contratar a AC e selecionar a restante equipa;
- Atribuir à EC o papel de representar os seus interesses durante todo o processo;
- Avaliar o desenvolvimento do P<sub>L</sub>C desenvolvido pela AC;
- Trabalhar de perto com a AC para determinar o âmbito e os objetivos do PC;
- Participar em reuniões periódicas do PC;
- Verificar e opinar sobre os relatórios elaborados pela AC;
- Aprovar e assistir aos testes de desempenho funcional;
- Considerar as recomendações dadas pela AC;
- Assistir à formação dos técnicos;
- Fornecer opiniões construtivas, principalmente durante o primeiro ano de operação;
- Aprovar a implementação do PC;
- Efetuar inspeções periódicas à obra.

### **b) Autoridade de comissionamento, AC**

A autoridade de comissionamento, AC, é aquela que lidera, planeia, esquematiza e coordena as atividades abaixo enunciadas. Uma das funções mais importantes da AC é manter o foco nos RDO, verificando o trabalho desenvolvido pelos demais e procurando garantir a qualidade das tarefas desempenhadas. [11], [28]

- Assistir ao desenvolvimento dos RDO com a possibilidade de os avaliar e sugerir ajustes;
- Organizar e liderar as atividades do processo;
- Assegurar que as expectativas do proprietário estão adequadamente documentadas nos RDO e no caderno de encargos;
- Efetuar revisões do projeto;
- Verificar os projetos e se a documentação dos RDO está devidamente incluída nas especificações dos mesmos;
- Introduzir uma visão global do PC na reunião de pré-projeto;
- Apresentar as diretrizes do PC e sua implementação na reunião de pré-construção;
- Preparar e atualizar o P<sub>L</sub>C;
- Organizar e liderar as reuniões ao longo de todo o processo;

- Desenvolver e fornecer listas de controlo de construção aos empreiteiros;
- Documentar todos os problemas na base de dados para o efeito, incluindo o montante gasto para a resolução dos mesmos bem como o valor de possíveis poupanças no futuro;
- Desenvolver e atualizar o caderno de encargos;
- Observar o desenrolar da FC;
- Desenvolver testes de desempenho funcional e inspecionar o desenrolar dos mesmos;
- Desenvolver e garantir que o Manual dos Sistemas está completo e de acordo com a realidade do edifício;
- Verificar os planos de formação e supervisionar os mesmos quando postos em prática;
- Apurar o nível de conhecimento dos técnicos de operação e manutenção após as sessões de formação;
- Desenvolver o relatório do PC;
- Conduzir e orientar visitas ao local periódicas durante o primeiro ano de operação;
- Constituir um recurso para os técnicos de operação e manutenção durante o primeiro ano de operação do edifício;
- Conduzir testes periódicos com os técnicos de operação e manutenção;
- Supervisionar a elaboração o Manual de Operação e Manutenção;
- Preparar o relatório final do comissionamento. [11], [28]

#### **c) Projetistas de diversas especialidades**

O objetivo primordial dos projetistas passa por desenvolver documentos que estejam de acordo com os RDO. As suas responsabilidades relativamente ao PC passam por [11], [28]:

- Participar na reunião de discussão dos RDO e nas reuniões de pré-construção;
- Desenvolver a MD;
- Respeitar os RDO e aplica-los em conformidade;
- Fornecer à AC todos os documentos requisitados bem como responder aos pedidos de informação e eventual mudança de ordens;
- Cooperar com a equipa para consertar eventuais deficiências no projeto;
- Providenciar a documentação necessária para o Manual dos Sistemas e para o Manual de operação e manutenção.

#### **d) Empreiteiros**

Os empreiteiros são responsáveis por realizar todas as atividades que estão estipuladas nos documentos relativos à construção. Nesses documentos também devem ser devidamente especificados todos os requisitos que os vendedores, fornecedores ou fabricantes devem respeitar, incluindo as expectativas para aceitação, a formação, períodos de garantia, material para operação e manutenção e expectativas funcionais. Tendo isto em consideração, o papel principal dos empreiteiros é construir e colocar a instalação em funcionamento. Aos seus fornecedores e vendedores exige-se que forneçam os materiais, equipamentos e sistemas que permitam dar resposta aos RDO. Posto isto, relativamente ao PC os empreiteiros devem [19]:

- Incluir os requisitos do PC e atividades em cada ordem de compra o subcontrato escrito;
- Garantir a colaboração e participação de todos os subempreiteiros e fabricantes;
- Participar nas reuniões de pré-construção e da EC;
- Incluir as etapas principais do PC no cronograma do projeto;
- Implementar o programa de formação, conforme detalhado nos documentos da construção;
- Submeter os documentos de aceitação ao dono de obra, aos projetistas e à AC;
- Informar a AC, quando os sistemas e equipamentos estão prontos para os ensaios;
- Demonstrar o desempenho dos equipamentos e/ou operação de sistemas à AC;
- Preencher as listas de controlo de construção à medida que o trabalho é realizado e submete-las à AC;
- Manter atualizações dos documentos de aceitação e peças desenhadas, conforme indicado nos documentos da construção.

**e) Técnicos de operação e manutenção ou responsáveis pelas instalações**

Os técnicos de operação e manutenção devem preparar-se adequadamente por forma a poder operar corretamente as instalações ainda no período antes da ocupação. Associado a este objetivo, os técnicos devem otimizar a operação dos sistemas de acordo com os RDO. Em relação ao PC devem ser cumpridas as seguintes atividades [28]:

- Participar na discussão dos RDO e no desenvolvimento do plano de treino e formação;
- Avaliar os documentos de manutenção para aceitação;
- Participar nas reuniões periódicas do PC;
- Participar em sessões periódicas de formação;
- Concluir testes periódicos com supervisão da AC;
- Atualizar a MD e as intenções operacionais, bem como o MS.

## Anexo J – Exemplo de listas de controlo da construção

A Figura 37 pretende ilustrar um exemplo prático da elaboração de duas listas de controlo da construção, nomeadamente para a Caldeira e para o *Chiller*.

### 4. Caldeira de água aquecida; Ex.: CALD 1

Instruções: Passo 1: Faça um círculo "Sim" ou "Não" e preencha a respectiva informação;  
Passo 2: Explique todos os "Não" no final da lista de verificações.

ITEM	Descrição da Tarefa	Respostas	
<b>1</b>	<b>Pasta de Obra</b>		
<b>A</b>	<b>Verificação de modelo</b>	Submetida	Entregue
1	Fabricante		
2	Modelo		
3	Número de série		
4	Capacidade Total de Aquecimento (kW)		
5	Tensão/Fase/Frequência (V/-/Hz)	-/-/-	-/-/-
6	Temperaturas de água aquecida à entrada e à saída (°C)	/	/
<b>B</b>	<b>Verificações físicas</b>		
1	Unidade livre de danos físicos	Sim	Não
2	As entradas de água estão seladas com tampões de plástico	Sim	Não
3	Todos os componentes estão em condições	Sim	Não
4	Manual de instalação e de arranque fornecido	Sim	Não
5	Unidades identificadas	Sim	Não
<b>2</b>	<b>Lista de controlo de construção (LCC)</b>		
<b>A</b>	<b>Instalação de Caldeira</b>		
1	Unidade instalada conforme recomendado pelo fabricante e especificações	Sim	Não
2	Espaço livre adequado para acesso à volta da unidade para serviço	Sim	Não
3	Todos os componentes estão acessíveis para manutenção	Sim	Não
4	A unidade pode ser removida do edifício	Sim	Não
5	Linha de alimentação de combustível instalada e possui inclinação adequada	Sim	Não
7	Conduta de exaustão de fumos correctamente suportada e com portas de visita	Sim	Não
8	Unidade etiquetada e com fácil identificação	Sim	Não
<b>B</b>	<b>Tubagens</b>		
1	Todos os componentes de tubagens foram instalados de acordo com o desenho detalhado do PjE	Sim	Não
2	Tubagem instalada por forma a facilitar em caso de remoção da unidade ou da(s) bateria(s)	Sim	Não
3	Tubagem suportada de acordo com as especificações	Sim	Não
4	Tubagens limpas	Sim	Não
5	O isolamento da tubagem está completo e instalado conforme especificado	Sim	Não
6	Existem termómetros e manómetros nas tubagens de ida e retorno	Sim	Não
7	Todas as válvulas e pontos de ensaio são facilmente acessíveis	Sim	Não
8	A identificação das válvulas está colocada	Sim	Não
<b>C</b>	<b>Electricidade</b>		
1	Interruptor de Segurança Local instalado em local acessível	Sim	Não
2	Todas as ligações eléctricas estão apertadas	Sim	Não
3	Todos os componentes eléctricos estão ligados à terra	Sim	Não
<b>D</b>	<b>Controlos – Instalação</b>		
1	Painel de controlo acessível e devidamente identificado	Sim	Não
2	Controlador remoto de arranque e paragem verificado	Sim	Não
3	Sinal de "reset" da temperatura de água aquecida verificado (se aplicável)	Sim	Não
4	Verificar portas ensaio instaladas perto de todos os sensores de controlo	Sim	Não
5	Actuadores instalados e calibração verificada	Sim	Não
<b>E</b>	<b>Arranque da Instalação de AVAC</b>		
1	Sistema inundado, cheio e ar purgado	Sim	Não
2	Queimador afinado com os ajustes adequados	Sim	Não
3	O sistema inicia o funcionamento e continua a trabalhar sem barulhos ou vibrações invulgares	Sim	Não
4	Lista de procedimentos de arranque do fabricante completa e anexa à unidade	Sim	Não
5	Valores de CO <sub>2</sub> e CO do ajuste do queimador (ppm/ppm)	/	/
<b>F</b>	<b>Controlos (GTC) – Arranque</b>		
1	Sensor do nível mínimo de água operacional	Sim	Não
2	Sensores de temperatura operacionais e calibrados	Sim	Não
3	Interruptor de caudal de água operacional	Sim	Não
4	Corte de elevada pressão/temperatura operacional	Sim	Não
5	Sequência de funcionamento da unidade verificada e corrigida	Sim	Não

#### Respostas "Não"

Item	Data	Razão para a resposta "Não"

### 5. Chiller (ou Bombas de Calor): Ex.: CH 1 (ou BC 1)

Instruções: Passo 1: Faça um círculo "Sim" ou "Não" e preencha a respectiva informação;  
Passo 2: Explique todos os "Não" no final da lista de verificações.

ITEM	Descrição da Tarefa	Respostas	
<b>1</b>	<b>Pasta de Obra</b>		
<b>A</b>	<b>Verificação de modelo</b>	Submetida	Entregue
1	Fabricante		
2	Modelo		
3	Número de série		
4	Capacidade de arrefecimento (kW)		
5	Capacidade de aquecimento (kW)		
6	Capacidade de recuperação de calor (kW)		
7	Tipo de Condensador		
8	Caudal no condensador (m³/h)		
9	Tipo de Fluido Arrefecido		
10	Caudal de Fluido Arrefecido (m³/h)		
11	Tipo de Recuperador (Parcial/Total)		
12	Tipo de fluido no recuperador		
13	Caudal no recuperador (m³/h)		
14	Tipo de fluido frigorígeno		
15	Potência do motor compressor e número de compressores (kW/n)	/	/
16	Potência e número de ventiladores (kW / n)	/	/
17	Tensão do motor do compressor/Fase/Frequência (V/-/Hz)	-/-/-	-/-/-
<b>B</b>	<b>Verificações físicas</b>		
1	Unidade livre de danos físicos	Sim	Não
2	As ligações hidráulicas estão seladas com tampões de plástico	Sim	Não
3	Todos os componentes OK (arrefecedor, condensador, compressor, motor, etc)	Sim	Não
4	Interruptor de Segurança eléctrico local é fornecido	Sim	Não
5	Manual de instalação e de arranque fornecido	Sim	Não
6	Unidade com placade identificação	Sim	Não
<b>2</b>	<b>Lista de controlo de construção (LCC)</b>		
<b>A</b>	<b>Instalação de Chiller</b>		
1	Unidade instalada conforme recomendado pelo fabricante e especificações	Sim	Não
2	Há um espaço livre mínimo para acesso à volta de toda a unidade de acordo com o especificado pelo fabricante	Sim	Não
3	Há um espaço livre mínimo para acesso em frente do variador de frequência de acordo com o especificado pelo fabricante	Sim	Não
4	Há um mínimo de espaço livre para limpeza dos tubos igual à dimensão da unidade em causa (feixes tubulares)	Sim	Não
5	Todos os componentes estão acessíveis para manutenção	Sim	Não
6	Isoladores de vibração internos em boas condições e calços de transporte removidos	Sim	Não
7	Unidade etiquetada e com fácil identificação	Sim	Não
<b>B</b>	<b>Fluido frigorígeno</b>		
1	Carga completa de fluido frigorígeno e óleo	Sim	Não
2	Ensaio de fugas da unidade em fábrica, realizados e relatório anexado	Sim	Não
3	Tubo de alívio de pressão canalizado para o exterior	Sim	Não
4	Deteção do fluido frigorígeno instalada e operacional antes de carregar com fluido	Sim	Não
5	Exgote e ligação flexível à tubagem da unidade para alívio de pressão	Sim	Não
<b>C</b>	<b>Electricidade</b>		
1	Terminais apertados pelo técnico responsável pelo arranque do chiller	Sim	Não
2	Interruptor de corte local instalado num local acessível	Sim	Não
3	O tamanho dos terminais corresponde ao requisito do tamanho do cabo	Sim	Não
4	Fusíveis da alimentação primária e de controlo fornecidos	Sim	Não
5	Arranque estrela triângulo	Sim	Não
6	Correntes máximas permitidas são superiores às mencionadas nos esquemas eléctricos	Sim	Não
7	Variador de frequência instalado (se aplicável)		
<b>D</b>	<b>Controlos – Instalação</b>		
1	Painel de controlo acessível e devidamente identificado	Sim	Não
2	Todos os sensores estão instalados e calibrados	Sim	Não
3	Ítems de segurança instalados e verificados	Sim	Não
<b>E</b>	<b>Controlos (GTC) – Arranque</b>		
1	Tensão e Corrente da unidade verificados	Sim	Não
2	Sinal de arranque e paragem remoto verificado	Sim	Não
3	Sinal fluxostato de fluido arrefecido / aquecido / recuperação verificado	Sim	Não
4	Sinal de limite de capacidade verificado	Sim	Não
5	Sequência de arranque da unidade verificada	Sim	Não
6	Sequência da unidade "em alarme" verificadas	Sim	Não
<b>F</b>	<b>Arranque mecânico</b>		
1	Lista de controlo de arranque do fabricante completa e anexada	Sim	Não
2	Os seguintes controlos de segurança estão operacionais e foram verificados:		
3	Baixa temperatura da água arrefecida	Sim	Não
4	Elevada pressão do fluido frigorígeno	Sim	Não
5	Protecção de baixo caudal de óleo	Sim	Não
6	Falha do caudal do fluido arrefecido	Sim	Não
7	Falha do caudal do condensador / recuperador	Sim	Não
8	Falha da protecção do fluido frigorígeno	Sim	Não
9	Sobretensão de corrente do motor / ventiladores	Sim	Não
10	Inversão/Desequilíbrio/Falha de Fases /Sobretensão/Subtensão	Sim	Não
11	Falha do sensor de temperatura do fluido utilizado pelo controlador	Sim	Não
12	Ensaio de plena carga para verificar o limite de capacidade	Sim	Não
13	O chiller arranca e continua a trabalhar sem barulhos ou vibrações invulgares	Sim	Não
<b>I</b>	<b>EAE</b>		
1	O filtro do fluido de arrefecimento está limpo	Sim	Não
2	Perda de carga do fluido no evaporador (kPa)		
3	Caudal de fluido arrefecido (m³/h)		
4	Filtro da água de condensação está limpo	Sim	Não
5	Perda de carga do fluido no condensador (kPa)		
6	Caudal da água de condensação (m³/h)		
7	Filtro de fluido de recuperação está limpo	Sim	Não
8	Perda de carga do fluido no recuperador (kPa)		
9	Caudal de fluido de recuperação (m³/h)		

#### Respostas "Não"

Item	Data	Razão para a resposta "Não"

Figura 37 - Listas de controlo da construção para a caldeira e para o chiller. [19]

## **Anexo K – Exemplo de uma sessão de formação**

As sessões de formação que devem ser dirigidas aos técnicos da operação e manutenção devem incluir, pelo menos, três sistemas principais: sistemas elétricos, sistemas mecânicos e sistemas de GTC. Segue-se alguns aspetos que essas formações devem abordar para cada um destes sistemas principais. [19]

### **1. Sistemas Elétricos**

A formação deverá incluir:

- Explicação geral e procedimentos de condução para as instalações elétricas;
- Procedimentos para as rotinas de manutenção dos equipamentos;
- Procedimentos específicos para a operação e manutenção de:
  - Quadros de distribuição
  - Grupos de emergência
  - Sistemas de Alarme de Incêndio

### **2. Sistemas Mecânicos**

A formação deverá incluir:

- Familiarização geral com os procedimentos operacionais para toda a tubagem, gases de laboratório, água pura, ar comprimido, combustível, sistema de AVAC e instalação de sistemas de proteção contra incêndio;
- Procedimentos das rotinas de manutenção dos equipamentos;
- Procedimentos operacionais e de manutenção específicos para:
  - Sistemas de água aquecida, composto por caldeiras, bombas, controlo e especialidades de águas aquecidas
  - Sistemas de água arrefecida, composto por chillers, torres de arrefecimento, bombas, controlo e circuitos hidráulicos
  - Sistema de controlo de temperatura automático constituído por hardware, software e lógica de programação
  - Sistema de controlo de ar de compensação a hotes de laboratório, incluindo hotes e válvulas de exaustão geral, baterias de reaquecimento e painel de controlo
  - Sistemas de supressão de fogo, incluindo procedimentos de emergência, abortar funções e requisitos de segurança
  - Sistema de exaustão de hotes de laboratório

### **3. Sistemas de GTC**

Esta formação abordará brevemente o material da sessão de formação para o operador, mas deve ser focado em recursos mais avançados do sistema com ênfase nas estratégias de eficiência energética e de relatórios do sistema e como implementá-los. [19]

## Anexo L – Profundidade de aplicação do comissionamento

Na Tabela 40 segue-se uma comparação entre as práticas correntes, uma segunda abordagem melhor e uma terceira que confere elevado desempenho.

Tabela 40 - Três perspetivas diferentes [41]

	Prática corrente	Melhor	Elevado Desempenho
<b>Atividades de comissionamento</b>	Normas e regulamentos em vigor	Mais: plano de comissionamento, testes de desempenho funcional e relatório de comissionamento	Mais: análise exaustiva dos documentos de aceitação dos projetistas e empreiteiros durante todo o processo de construção
<b>Autoridade de comissionamento</b>	Inexistente	Contrato de uma entidade de comissionamento como parte da equipa de projeto ou de construção	Contratar uma entidade de comissionamento totalmente independente
<b>Documentação da operação</b>	Desenhos de construção e documentos de garantia	Mais: Manuais de O&M abrangentes e planos de manutenção preventiva	Mais: Manual de medidas de recomissionamento
<b>Última etapa do processo de construção</b>	Término da ligação contratual com o empreiteiro	Relatório final de comissionamento após formação do pessoal técnico	Avaliação perto do final da garantia ou após ocupação (10 a 12 meses do final da garantia)
<b>Comissionamento em curso</b>	Abordagem reativa: avaliar os sistemas apenas quando os problemas são reportados	Abordagem ativa: manutenção efetiva e permanente	Abordagem proactiva: calendarizar etapas de recomissionamento para todos os sistemas

## Anexo M – Matriz do Processo de Comissionamento, M-PC

### M.1. Questões para aplicação da M-PC

A Tabela 41 apresenta a correspondência entre as questões utilizadas na M-PC e as respectivas chaves de identificação. As questões a negrito apresentam uma explicação mais pormenorizada sobre elas próprias.

Tabela 41 - Questionário - análise da M-PC

Chave	Questão
<b>C01</b>	O dono de obra participou nas reuniões?
<b>C02</b>	Os projetistas participaram nas reuniões?
<b>C03</b>	Os empreiteiros participaram nas reuniões?
<b>C04</b>	Os técnicos de O&M participaram nas reuniões?
<b>C05</b>	<b>Esteve presente nas reuniões uma entidade independente?</b>
	Entenda-se por uma entidade independente alguém que impeça o desvio de responsabilidades, uma entidade que esteja incumbida de algum tipo de fiscalização ou algo do género.
<b>C06</b>	Houve preocupação em evitar problemas que aconteceram em projetos anteriores semelhantes? (que tipo de problemas se evitaram?)
<b>C07</b>	Manifestaram-se preocupações para obter condições interiores de conforto ideais? (Quais as variáveis que se consideraram: temperatura, humidade relativa, caudal de ar)
<b>C08</b>	Demonstrou-se preocupação no sentido de obter infraestruturas sustentáveis?
<b>C09</b>	<b>Definiu-se claramente o âmbito do projeto?</b>
	Definir o âmbito do projeto no sentido de indicar quais os equipamentos ou sistemas que serão alvos de comissionamento/destaque em todo o processo. No caso particular dos sistemas AVAC o âmbito estará completo com a definição da seguinte informação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecimento de energia (gasóleo, gás, eletricidade, água aquecida e arrefecida, energia solar ou eólica);</li> <li>• Produção de calor (caldeiras, acessórios);</li> <li>• Produção de frio (chillers, torres de arrefecimento, bombas);</li> <li>• Redes de distribuição (hidráulicas e de condutas);</li> <li>• Unidades autónomas e terminais;</li> <li>• Instrumentação e controlo de sistemas;</li> <li>• Outros sistemas especiais relativos a equipamentos e controlo das instalações.</li> </ul>
<b>C10</b>	<b>Definiu-se claramente o orçamento do projeto?</b>
	Quem é que define o orçamento? Há margem negocial entre as partes envolvidas no processo?
<b>C11</b>	Manifestaram-se limitações de orçamento que afetaram a definição do âmbito?
<b>C12</b>	<b>Os desejos/expectativas do dono de obra foram traduzidos em requisitos a cumprir?</b>
	<i>Ver Anexo D para perceber que tipo de requisitos devem ser discutidos.</i>
<b>C13</b>	O dono de obra comunicou claramente os RDO? (Quem tomou conhecimento dos requisitos? Toda a equipa? Apenas parte dela?)
<b>C14</b>	O dono de obra verificou o cumprimento dos RDO?



<b>C15</b>	Foram detetados/registos problemas/inconformidades relativamente aos RDO?
<b>C16</b>	Os empreiteiros comunicaram eventuais alterações efetuadas ao projeto? (que tipo de alterações foram reportadas?)
<b>C17</b>	Foram detetados/registados contratempos?
<b>C18</b>	Estimou-se a poupança a obter com a resolução do eventual problema?
<b>C19</b>	O dono de obra acompanhou a construção das infraestruturas e dos sistemas com visitas periódicas?
<b>C20</b>	Houve comunicação entre dono de obra e empreiteiro?
<b>C21</b>	Identificaram-se os obstáculos que impediram de alcançar os RDO?
<b>C22</b>	Concluiu-se sobre questões e procedimentos que devem ser revistos ou modificados em futuros projetos?
<b>C23</b>	O dono de obra participou ativamente com comentários construtivos durante o 1º ano de operação? (que tipo de comentários foram efetuados?)
<b>C24</b>	Os comentários do dono de obra resultaram em medidas/alterações que foram aplicadas no decurso da operação dos sistemas? (alterações feitas em que setores?)
<b>C25</b>	Foram comunicados problemas durante o 1º ano de utilização? (Tipo de problemas detetados, área ou setor mais afetado?)
<b>C26</b>	Foram comunicados problemas durante os anos seguintes ao 1º ano de utilização?
<b>C27</b>	Foram implementadas soluções e melhorias aos sistemas após identificação de deficiências?
<b>C28</b>	Há uma relação de proximidade entre o dono de obra e técnicos de O&M? (há partilha de informação sobre as exigências do dono de obra?)
<b>D01</b>	Registaram-se os requisitos do dono de obra num documento? (que tipo de requisitos foram definidos?)
<b>D02</b>	<b>Foram documentados e cumpridos os critérios de aceitação? (aplicaram-se a que sistemas esses critérios?)</b>
	Quando se fala em critérios de aceitação, entenda-se por algo que tem de ser concluído para se avançar para a próxima fase, para avançar com os trabalhos. Definiu-se um plano de aceitação?
<b>D03</b>	<b>Foram efetuados ajustes/alterações nos RDO?</b>
	Qual a secção dos RDO que foi alterada: (?) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos chave;</li> <li>• Utilização funcional;</li> <li>• Requisitos de ocupação;</li> <li>• Limitações de orçamento.</li> </ul>
<b>D04</b>	O dono de obra avaliou/acompanhou o desenrolar dos projetos? (Todos eles ou apenas parte?)
<b>D05</b>	<b>Os projetistas desenvolveram uma memória descritiva? (incluiu explicações sobre a seleção dos equipamentos, suposições tomadas, códigos e normas utilizadas)</b>
	<i>Ver Anexo E para perceber que tipo de informação deve conter uma MD.</i>
<b>D06</b>	Foram desenvolvidos documentos que incluam desenhos das instalações mecânicas, elétricas e estruturais? (há documentação que não foi concebida na totalidade, falta informação nas telas ou a informação está desorganizada e pouco clara)
<b>D07</b>	Foram desenvolvidos esquemas de princípio e de controlo? (São claros? Abrangem toda a instalação?)

<b>D08</b>	<b>Desenvolveu-se o Manual dos Sistemas? (para que sistemas? Estão completos? Apresentam informação sobre procedimentos de operações recomendadas, guias de otimização contínua e manuais de O&amp;M?)</b>
<i>Ver Anexo G para perceber que tipo de informação deve conter um MS.</i>	
<b>D09</b>	Foram desenvolvidas listas de controlo da construção? (O seu preenchimento foi completo? Há falta de informação?)
<b>D10</b>	Registou-se a receção dos equipamentos?
<b>D11</b>	Do registo dos equipamentos concluiu-se que o que se recebeu foi o que se projetou?
<b>D12</b>	Os técnicos atualizaram a memória descritiva? (que tipo de informação foi adicionada?)
<b>D13</b>	Os técnicos atualizaram o manual dos sistemas? (que tipo de informação foi adicionada?)
<b>D14</b>	As alterações nos projetos iniciais foram devidamente documentadas? (quais os projetos modificados? – AVAC, arquitetura, iluminação)
<b>E01</b>	Foram realizados ensaios de receção aos equipamentos que verificassem a conformidade em relação ao projeto? (nas quantidades e potências previstas?)
<b>E02</b>	Foram realizados testes de desempenho funcional a equipamentos/sistemas? (que sistemas foram testados? Qual a representatividade desses sistemas nos consumos dos edifícios?)
<b>E03</b>	A avaliação dos equipamentos incidiu apenas sobre se estes são ou não eficientes, ou também se preocupou com o conforto ou falta dele que estes originam e ainda a manutenção que irão requerer? (isso implicou a escolha de equipamentos mais caros? Foi possível ou não salvaguardar todas as preocupações?)
<b>E04</b>	Os técnicos da O&M realizaram testes sazonais aos equipamentos? (em que períodos se realizaram os testes? Qual o intervalo de tempo entre testes? Que equipamentos foram selecionados para a amostra?)
<b>E05</b>	O edifício está a ser monitorizado manualmente? (que tipo de monitorização está a ser efetuada? Que consumos estão a ser medidos?)
<b>E06</b>	O edifício tem sido alvo de manutenção constante? (A manutenção foi feita sempre pela mesma entidade/empresa? Se não, houve transferência de informação para os técnicos atuais?)
<b>E07</b>	O edifício não viu a sua manutenção interrompida por mais de um ano ou mais tempo? (duração da interrupção?)
<b>F01</b>	<b>Os técnicos de O&amp;M participaram em sessões periódicas de formação?</b>
<i>Ver Anexo K para perceber que tipo de formação deve ser fornecida.</i>	
<b>F02</b>	Foi avaliado o grau de conhecimento dos técnicos antes da operação e manutenção?
<b>F03</b>	Foram administradas sessões de formação sobre sistemas elétricos?
<b>F04</b>	Foram administradas sessões de formação sobre sistemas mecânicos?
<b>F05</b>	Foram administradas sessões de formação sobre sistemas de gestão técnica centralizada?

## M.2. Preenchimento das matrizes do PC para os 5 casos de estudo

### a) Caso I

Tabela 42 - M-PC para o caso I

GI da Fase - Potencial de poupança	Fase	Grupo	Código	GI - Questão	Sim	Sim, mas...	Não	Desconhece-se
35%	FPP	1	C01	4%	•			
35%	FPP	1	C02	4%	•			
35%	FPP	1	C03	4%			•	
35%	FPP	1	C04	3%			•	
35%	FPP	1	C05	10%				•
35%	FPP	1	C06	11%				•
35%	FPP	1	C07	7%	•			
35%	FPP	1	C08	10%				•
35%	FPP	1	C09	6%				•
35%	FPP	1	C10	3%	•			
35%	FPP	1	C11	2%				•
35%	FPP	1	C12	10%	•			
35%	FPP	1	C13	10%				•
35%	FPP	2	D01	10%		•		
35%	FPP	2	D02	7%				•
30%	FPE	1	C01	4%	•			
30%	FPE	1	C02	4%	•			
30%	FPE	1	C03	4%			•	
30%	FPE	1	C04	3%			•	
30%	FPE	1	C05	10%				•
30%	FPE	1	C14	8%				•
30%	FPE	1	C15	10%				•
30%	FPE	2	D02	7%				•
30%	FPE	2	D03	8%				•
30%	FPE	2	D04	8%	•			
30%	FPE	2	D05	15%		•		
30%	FPE	2	D06	10%		•		
30%	FPE	2	D07	10%		•		
20%	FC	1	C01	2%	•			
20%	FC	1	C02	1%	•			
20%	FC	1	C03	2%	•			
20%	FC	1	C04	2%			•	
20%	FC	1	C05	5%				•
20%	FC	1	C16	3%				•
20%	FC	1	C17	3%				•
20%	FC	1	C18	8%				•
20%	FC	1	C19	3%	•			
20%	FC	1	C20	4%	•			
20%	FC	2	D02	5%				•
20%	FC	2	D08	9%		•		
20%	FC	2	D09	9%				•
20%	FC	2	D10	9%				•
20%	FC	2	D11	6%				•
20%	FC	3	E01	9%				•
20%	FC	3	E02	11%				•
20%	FC	3	E03	9%				•
15%	FO&M	1	C01	2%	•			
15%	FO&M	1	C02	1%			•	
15%	FO&M	1	C03	1%			•	
15%	FO&M	1	C04	2%	•			
15%	FO&M	1	C05	3%				•
15%	FO&M	1	C14	4%	•			
15%	FO&M	1	C21	3%				•
15%	FO&M	1	C22	3%	•			
15%	FO&M	1	C23	3%	•			
15%	FO&M	1	C24	3%	•			
15%	FO&M	1	C25	3%	•			
15%	FO&M	1	C26	3%	•			
15%	FO&M	1	C27	3%		•		
15%	FO&M	1	C28	2%	•			
15%	FO&M	2	D12	6%			•	
15%	FO&M	2	D13	6%		•		
15%	FO&M	2	D14	5%				•
15%	FO&M	3	E04	8%				•
15%	FO&M	3	E05	8%	•			
15%	FO&M	3	E06	8%		•		
15%	FO&M	3	E07	6%				•
15%	FO&M	4	F01	4%				•
15%	FO&M	4	F02	4%	•			
15%	FO&M	4	F03	3%				•
15%	FO&M	4	F04	3%				•
15%	FO&M	4	F05	3%				•

**b) Caso II**

Tabela 43 – M-PC para o caso II

GI da Fase - Potencial de poupança	Fase	Grupo	Código	GI - Questão	Sim	Sim, mas...	Não	Desconhece-se
35%	FPP	1	C01	4%	•			
35%	FPP	1	C02	4%	•			
35%	FPP	1	C03	4%			•	
35%	FPP	1	C04	3%			•	
35%	FPP	1	C05	10%				•
35%	FPP	1	C06	11%	•			
35%	FPP	1	C07	7%	•			
35%	FPP	1	C08	10%	•			
35%	FPP	1	C09	6%				•
35%	FPP	1	C10	3%	•			
35%	FPP	1	C11	2%				•
35%	FPP	1	C12	10%	•			
35%	FPP	1	C13	10%				•
35%	FPP	2	D01	10%		•		
35%	FPP	2	D02	7%				•
30%	FPE	1	C01	4%	•			
30%	FPE	1	C02	4%	•			
30%	FPE	1	C03	4%			•	
30%	FPE	1	C04	3%			•	
30%	FPE	1	C05	10%				•
30%	FPE	1	C14	8%				•
30%	FPE	1	C15	10%				•
30%	FPE	2	D02	7%				•
30%	FPE	2	D03	8%				•
30%	FPE	2	D04	8%	•			
30%	FPE	2	D05	15%		•		
30%	FPE	2	D06	10%		•		
30%	FPE	2	D07	10%		•		
20%	FC	1	C01	2%	•			
20%	FC	1	C02	1%	•			
20%	FC	1	C03	2%	•			
20%	FC	1	C04	2%			•	
20%	FC	1	C05	5%				•
20%	FC	1	C16	3%				•
20%	FC	1	C17	3%				•
20%	FC	1	C18	8%				•
20%	FC	1	C19	3%	•			
20%	FC	1	C20	4%	•			
20%	FC	2	D02	5%				•
20%	FC	2	D08	9%		•		
20%	FC	2	D09	9%				•
20%	FC	2	D10	9%			•	
20%	FC	2	D11	6%				•
20%	FC	3	E01	9%				•
20%	FC	3	E02	11%				•
20%	FC	3	E03	9%				•
15%	FO&M	1	C01	2%	•			
15%	FO&M	1	C02	1%			•	
15%	FO&M	1	C03	1%			•	
15%	FO&M	1	C04	2%	•			
15%	FO&M	1	C05	3%				•
15%	FO&M	1	C14	4%	•			
15%	FO&M	1	C21	3%				•
15%	FO&M	1	C22	3%	•			
15%	FO&M	1	C23	3%	•			
15%	FO&M	1	C24	3%	•			
15%	FO&M	1	C25	3%	•			
15%	FO&M	1	C26	3%	•			
15%	FO&M	1	C27	3%		•		
15%	FO&M	1	C28	2%	•			
15%	FO&M	2	D12	6%			•	
15%	FO&M	2	D13	6%		•		
15%	FO&M	2	D14	5%				•
15%	FO&M	3	E04	8%				•
15%	FO&M	3	E05	8%			•	
15%	FO&M	3	E06	8%		•		
15%	FO&M	3	E07	6%				•
15%	FO&M	4	F01	4%			•	
15%	FO&M	4	F02	4%	•			
15%	FO&M	4	F03	3%			•	
15%	FO&M	4	F04	3%			•	
15%	FO&M	4	F05	3%			•	

c) **Caso III**

Tabela 44 - M-PC para o caso III

GI da Fase - Potencial de poupança	Fase	Grupo	Código	GI - Questão	Sim	Sim, mas...	Não	Desconhece-se
35%	FPP	1	C01	4%	•			
35%	FPP	1	C02	4%	•			
35%	FPP	1	C03	4%			•	
35%	FPP	1	C04	3%			•	
35%	FPP	1	C05	10%				•
35%	FPP	1	C06	11%	•			
35%	FPP	1	C07	7%	•			
35%	FPP	1	C08	10%	•			
35%	FPP	1	C09	6%				•
35%	FPP	1	C10	3%	•			
35%	FPP	1	C11	2%				•
35%	FPP	1	C12	10%	•			
35%	FPP	1	C13	10%				•
35%	FPP	2	D01	10%		•		
35%	FPP	2	D02	7%				•
30%	FPE	1	C01	4%	•			
30%	FPE	1	C02	4%	•			
30%	FPE	1	C03	4%			•	
30%	FPE	1	C04	3%			•	
30%	FPE	1	C05	10%				•
30%	FPE	1	C14	8%				•
30%	FPE	1	C15	10%				•
30%	FPE	2	D02	7%				•
30%	FPE	2	D03	8%				•
30%	FPE	2	D04	8%	•			
30%	FPE	2	D05	15%		•		
30%	FPE	2	D06	10%		•		
30%	FPE	2	D07	10%		•		
20%	FC	1	C01	2%	•			
20%	FC	1	C02	1%	•			
20%	FC	1	C03	2%	•			
20%	FC	1	C04	2%			•	
20%	FC	1	C05	5%				•
20%	FC	1	C16	3%				•
20%	FC	1	C17	3%				•
20%	FC	1	C18	8%				•
20%	FC	1	C19	3%	•			
20%	FC	1	C20	4%	•			
20%	FC	2	D02	5%				•
20%	FC	2	D08	9%		•		
20%	FC	2	D09	9%				•
20%	FC	2	D10	9%			•	
20%	FC	2	D11	6%				•
20%	FC	3	E01	9%				•
20%	FC	3	E02	11%				•
20%	FC	3	E03	9%				•
15%	FO&M	1	C01	2%	•			
15%	FO&M	1	C02	1%			•	
15%	FO&M	1	C03	1%			•	
15%	FO&M	1	C04	2%	•			
15%	FO&M	1	C05	3%				•
15%	FO&M	1	C14	4%	•			
15%	FO&M	1	C21	3%				•
15%	FO&M	1	C22	3%	•			
15%	FO&M	1	C23	3%	•			
15%	FO&M	1	C24	3%	•			
15%	FO&M	1	C25	3%	•			
15%	FO&M	1	C26	3%	•			
15%	FO&M	1	C27	3%		•		
15%	FO&M	1	C28	2%	•			
15%	FO&M	2	D12	6%			•	
15%	FO&M	2	D13	6%		•		
15%	FO&M	2	D14	5%				•
15%	FO&M	3	E04	8%				•
15%	FO&M	3	E05	8%	•			
15%	FO&M	3	E06	8%		•		
15%	FO&M	3	E07	6%				•
15%	FO&M	4	F01	4%				•
15%	FO&M	4	F02	4%	•			
15%	FO&M	4	F03	3%			•	
15%	FO&M	4	F04	3%			•	
15%	FO&M	4	F05	3%		•		

d) Caso IV

Tabela 45 - M-PC para o caso IV

GI da Fase - Potencial de poupança	Fase	Grupo	Código	GI - Questão	Sim	Sim, mas...	Não	Desconhece-se
35%	FPP	1	C01	4%	•			
35%	FPP	1	C02	4%	•			
35%	FPP	1	C03	4%			•	
35%	FPP	1	C04	3%			•	
35%	FPP	1	C05	10%				•
35%	FPP	1	C06	11%	•			
35%	FPP	1	C07	7%	•			
35%	FPP	1	C08	10%	•			
35%	FPP	1	C09	6%		•		
35%	FPP	1	C10	3%	•			
35%	FPP	1	C11	2%				•
35%	FPP	1	C12	10%	•			
35%	FPP	1	C13	10%	•			
35%	FPP	2	D01	10%		•		
35%	FPP	2	D02	7%				•
30%	FPE	1	C01	4%	•			
30%	FPE	1	C02	4%	•			
30%	FPE	1	C03	4%			•	
30%	FPE	1	C04	3%			•	
30%	FPE	1	C05	10%				•
30%	FPE	1	C14	8%				•
30%	FPE	1	C15	10%				•
30%	FPE	2	D02	7%				•
30%	FPE	2	D03	8%				•
30%	FPE	2	D04	8%	•			
30%	FPE	2	D05	15%		•		
30%	FPE	2	D06	10%		•		
30%	FPE	2	D07	10%		•		
20%	FC	1	C01	2%			•	
20%	FC	1	C02	1%	•			
20%	FC	1	C03	2%	•			
20%	FC	1	C04	2%			•	
20%	FC	1	C05	5%	•			
20%	FC	1	C16	3%		•		
20%	FC	1	C17	3%				•
20%	FC	1	C18	8%				•
20%	FC	1	C19	3%	•			
20%	FC	1	C20	4%	•			
20%	FC	2	D02	5%				•
20%	FC	2	D08	9%		•		
20%	FC	2	D09	9%				•
20%	FC	2	D10	9%		•		
20%	FC	2	D11	6%	•			
20%	FC	3	E01	9%		•		
20%	FC	3	E02	11%				•
20%	FC	3	E03	9%				•
15%	FO&M	1	C01	2%	•			
15%	FO&M	1	C02	1%			•	
15%	FO&M	1	C03	1%			•	
15%	FO&M	1	C04	2%	•			
15%	FO&M	1	C05	3%				•
15%	FO&M	1	C14	4%	•			
15%	FO&M	1	C21	3%				•
15%	FO&M	1	C22	3%	•			
15%	FO&M	1	C23	3%	•			
15%	FO&M	1	C24	3%	•			
15%	FO&M	1	C25	3%	•			
15%	FO&M	1	C26	3%	•			
15%	FO&M	1	C27	3%		•		
15%	FO&M	1	C28	2%	•			
15%	FO&M	2	D12	6%			•	
15%	FO&M	2	D13	6%		•		
15%	FO&M	2	D14	5%		•		
15%	FO&M	3	E04	8%				•
15%	FO&M	3	E05	8%	•			
15%	FO&M	3	E06	8%		•		
15%	FO&M	3	E07	6%				•
15%	FO&M	4	F01	4%				•
15%	FO&M	4	F02	4%	•			
15%	FO&M	4	F03	3%		•		
15%	FO&M	4	F04	3%		•		
15%	FO&M	4	F05	3%		•		

e) Caso V

Tabela 46 - M-PC para o caso V

GI da Fase - Potencial de poupança	Fase	Grupo	Código	GI - Questão	Sim	Sim, mas...	Não	Desconhece-se
35%	FPP	1	C01	4%	•			
35%	FPP	1	C02	4%	•			
35%	FPP	1	C03	4%			•	
35%	FPP	1	C04	3%			•	
35%	FPP	1	C05	10%				•
35%	FPP	1	C06	11%	•			
35%	FPP	1	C07	7%	•			
35%	FPP	1	C08	10%	•			
35%	FPP	1	C09	6%		•		
35%	FPP	1	C10	3%	•			
35%	FPP	1	C11	2%				•
35%	FPP	1	C12	10%	•			
35%	FPP	1	C13	10%	•			
35%	FPP	2	D01	10%		•		
35%	FPP	2	D02	7%				•
30%	FPE	1	C01	4%	•			
30%	FPE	1	C02	4%	•			
30%	FPE	1	C03	4%			•	
30%	FPE	1	C04	3%			•	
30%	FPE	1	C05	10%				•
30%	FPE	1	C14	8%				•
30%	FPE	1	C15	10%				•
30%	FPE	2	D02	7%				•
30%	FPE	2	D03	8%				•
30%	FPE	2	D04	8%	•			
30%	FPE	2	D05	15%		•		
30%	FPE	2	D06	10%		•		
30%	FPE	2	D07	10%		•		
20%	FC	1	C01	2%			•	
20%	FC	1	C02	1%	•			
20%	FC	1	C03	2%	•			
20%	FC	1	C04	2%			•	
20%	FC	1	C05	5%	•			
20%	FC	1	C16	3%		•		
20%	FC	1	C17	3%				•
20%	FC	1	C18	8%				•
20%	FC	1	C19	3%	•			
20%	FC	1	C20	4%	•			
20%	FC	2	D02	5%				•
20%	FC	2	D08	9%		•		
20%	FC	2	D09	9%				•
20%	FC	2	D10	9%		•		
20%	FC	2	D11	6%	•			
20%	FC	3	E01	9%		•		
20%	FC	3	E02	11%				•
20%	FC	3	E03	9%				•
15%	FO&M	1	C01	2%	•			
15%	FO&M	1	C02	1%			•	
15%	FO&M	1	C03	1%			•	
15%	FO&M	1	C04	2%	•			
15%	FO&M	1	C05	3%				•
15%	FO&M	1	C14	4%	•			
15%	FO&M	1	C21	3%				•
15%	FO&M	1	C22	3%	•			
15%	FO&M	1	C23	3%	•			
15%	FO&M	1	C24	3%	•			
15%	FO&M	1	C25	3%	•			
15%	FO&M	1	C26	3%	•			
15%	FO&M	1	C27	3%		•		
15%	FO&M	1	C28	2%	•			
15%	FO&M	2	D12	6%			•	
15%	FO&M	2	D13	6%		•		
15%	FO&M	2	D14	5%		•		
15%	FO&M	3	E04	8%				•
15%	FO&M	3	E05	8%	•			
15%	FO&M	3	E06	8%		•		
15%	FO&M	3	E07	6%				•
15%	FO&M	4	F01	4%				•
15%	FO&M	4	F02	4%	•			
15%	FO&M	4	F03	3%		•		
15%	FO&M	4	F04	3%		•		
15%	FO&M	4	F05	3%		•		

## Anexo N – Matriz do Processo de Retro Comissionamento, M-PRC

### N.1. Questões para aplicação da M-PRC

A Tabela 47 apresenta a correspondência entre as questões utilizadas na M-PRC e as respectivas chaves de identificação.

*Tabela 47 - Questionário - análise da M-PRC*

Chave	Questão
<b>P01</b>	Foram definidos objetivos para o projeto?
<b>P02</b>	Há um plano de gestão de energia?
<b>P03</b>	No final do projeto discutiu-se sobre o que funcionou ou não?
<b>P04</b>	No final do projeto discutiu-se sobre se os objetivos foram ou não atingidos?
<b>P05</b>	No final do projeto discutiu-se sobre se algo mudaria em futuros projetos?
<b>D01</b>	A documentação do edifício encontra-se devidamente atualizada?
<b>D02</b>	Existem telas finais?
<b>D03</b>	Existe lista de equipamentos instalados e respetivas especificações?
<b>D04</b>	Existe manuais de O&M dos equipamentos?
<b>D05</b>	Há relatórios de testes de desempenho funcional?
<b>D06</b>	Estão documentadas as sequências operacionais dos vários sistemas?
<b>D07</b>	Existem esquemas de controlo?
<b>D08</b>	Existem manuais destinados à formação?
<b>D09</b>	Existem relatórios ou estudos prévios de engenharia?
<b>D10</b>	Há documentos que expliquem as potencialidades da GTC?
<b>D11</b>	Existe um registo de reclamações?
<b>D12</b>	Existe um documento que inclui os requisitos funcionais exigidos pelos sistemas?
<b>D13</b>	Existe informação geral sobre as instalações? (Breve descrição do edifício e dos sistemas)
<b>D14</b>	Há documentos que explicitam as tarefas e responsabilidades dos intervenientes?
<b>D15</b>	Existe registo de calendarização das tarefas?
<b>D16</b>	As melhorias operacionais e de manutenção foram documentadas?
<b>D17</b>	As anomalias e deficiências são registadas num documento para o efeito?
<b>D18</b>	As potenciais melhorias resultantes das medidas corretivas são registadas num documento para o efeito?
<b>O01</b>	As estratégias operacionais estão otimizadas?
<b>O02</b>	Os sistemas operam de acordo com o que foi projetado? (são eficientes? Os sistemas de controlo funcionam?)
<b>O03</b>	O estado atual dos equipamentos é aceitável?
<b>O04</b>	Todos os equipamentos instalados respondem às solicitações dos utilizadores?



<b>O05</b>	As instalações têm sido fiscalizadas?
<b>O06</b>	Foram aplicadas medidas de melhoria com impacto na fatura energética?
<b>O07</b>	Foram realizados testes/avaliações após a implementação das melhorias?
<b>O08</b>	Foram desenvolvidas estratégias de desempenho?
<b>M01</b>	Os procedimentos de manutenção estão otimizados?
<b>M02</b>	O edifício tem sido alvo de estudos de <i>benchmarking</i> ?
<b>M03</b>	O plano de manutenção dos sistemas tem sido alvo de implementação e atualização?
<b>M04</b>	Os pontos de monitorização estão colocados em locais relevantes?
<b>M05</b>	O edifício está a ser monitorizado? (como? Com que método?)
<b>M06</b>	Foram realizados testes, simulando condições especiais? (ou os testes decorreram nas condições normais de funcionamento?)
<b>M07</b>	Há estudos sobre poupança energética que se pode obter com a resolução de anomalias?
<b>M08</b>	Foram definidas metodologias de acompanhamento de resultados?
<b>M09</b>	Procede-se à formação contínua dos técnicos de O&M?

## N.2. Preenchimento das matrizes do PRC para os 5 casos de estudo

### a) Caso I

Tabela 48 - M-PRC para o caso I

GI - Grupo	Código	GI - Questão	Questão	Sim	Sim, mas...	Não	Desconhece-se
10%	P01	20%	Foram definidos objetivos para o projeto?		•		
10%	P02	40%	Há um plano de gestão de energia?		•		
10%	P03	15%	No final do projeto discutiu-se sobre o que funcionou ou não?	•			
10%	P04	15%	No final do projeto discutiu-se sobre se os objetivos foram ou não atingidos?	•			
10%	P05	10%	No final do projeto discutiu-se sobre se algo mudaria em futuros projetos?				•
25%	D01	8%	A documentação do edifício encontra-se devidamente atualizada?			•	
25%	D02	5%	Existem telas finais?		•		
25%	D03	5%	Existe lista de equipamentos instalados e respetivas especificações?		•		
25%	D04	6%	Existe manuais de O&M dos equipamentos?	•			
25%	D05	10%	Há relatórios de testes de desempenho funcional?				•
25%	D06	6%	Estão documentadas as sequências operacionais dos vários sistemas?			•	
25%	D07	6%	Existem esquemas de controlo?	•			
25%	D08	6%	Existem manuais destinados à formação?			•	
25%	D09	4%	Existem relatórios ou estudos prévios de engenharia?				•
25%	D10	6%	Há documentos que expliquem as potencialidades da GTC?			•	
25%	D11	5%	Existe um registo de reclamações?				•
25%	D12	7%	Existe um documento que inclui os requisitos funcionais exigidos pelos sistemas?				•
25%	D13	2%	Existe informação geral sobre as instalações? (Breve descrição do edifício e dos sistemas)			•	
25%	D14	5%	Há documentos que explicitam as tarefas e responsabilidades dos intervenientes?			•	
25%	D15	5%	Existe registo de calendarização das tarefas?			•	
25%	D16	6%	As melhorias operacionais e de manutenção foram documentadas?				•
25%	D17	6%	As anomalias e deficiências são registadas num documento para o efeito?	•			
25%	D18	5%	As potenciais melhorias resultantes das medidas corretivas são registadas num documento para o efeito?			•	
35%	O01	13%	As estratégias operacionais estão otimizadas?			•	
35%	O02	13%	Os sistemas operam de acordo com o que foi projetado? (são eficientes? Os sistemas de controlo funcionam?)		•		
35%	O03	13%	O estado atual dos equipamentos é aceitável?	•			
35%	O04	9%	Todos os equipamentos instalados respondem às solicitações dos utilizadores?	•			
35%	O05	15%	As instalações têm sido fiscalizadas?				•
35%	O06	12%	Foram aplicadas medidas de melhoria com impacto na fatura energética?				•
35%	O07	13%	Foram realizados testes/avaliações após a implementação das melhorias?				•
35%	O08	13%	Foram desenvolvidas estratégias de desempenho?				•
30%	M01	11%	Os procedimentos de manutenção estão otimizados?			•	
30%	M02	10%	O edifício tem sido alvo de estudos de <i>benchmarking</i> ?			•	
30%	M03	10%	O plano de manutenção dos sistemas tem sido alvo de implementação e atualização?			•	
30%	M04	12%	Os pontos de monitorização estão colocados em locais relevantes?	•			
30%	M05	11%	O edifício está a ser monitorizado? (como? Com que método?)			•	
30%	M06	12%	Foram realizados testes, simulando condições especiais?			•	
30%	M07	12%	Há estudos sobre poupança energética que se pode obter com a resolução de anomalias?			•	
30%	M08	11%	Foram definidas metodologias de acompanhamento de resultados?			•	
30%	M09	11%	Procede-se à formação contínua dos técnicos de O&M?			•	

## a) Caso II

Tabela 49 - M-PRC para o caso II

GI - Grupo	Código	GI - Questão	Questão	Sim	Sim, mas...	Não	Desconhece-se
10%	P01	20%	Foram definidos objetivos para o projeto?		•		
10%	P02	40%	Há um plano de gestão de energia?		•		
10%	P03	15%	No final do projeto discutiu-se sobre o que funcionou ou não?	•			
10%	P04	15%	No final do projeto discutiu-se sobre se os objetivos foram ou não atingidos?	•			
10%	P05	10%	No final do projeto discutiu-se sobre se algo mudaria em futuros projetos?				•
25%	D01	8%	A documentação do edifício encontra-se devidamente atualizada?			•	
25%	D02	5%	Existem telas finais?	•			
25%	D03	5%	Existe lista de equipamentos instalados e respetivas especificações?		•		
25%	D04	6%	Existem manuais de O&M dos equipamentos?	•			
25%	D05	10%	Há relatórios de testes de desempenho funcional?				•
25%	D06	6%	Estão documentadas as sequências operacionais dos vários sistemas?	•			
25%	D07	6%	Existem esquemas de controlo?	•			
25%	D08	6%	Existem manuais destinados à formação?			•	
25%	D09	4%	Existem relatórios ou estudos prévios de engenharia?		•		
25%	D10	6%	Há documentos que expliquem as potencialidades da GTC?	•			
25%	D11	5%	Existe um registo de reclamações?				•
25%	D12	7%	Existe um documento que inclui os requisitos funcionais exigidos pelos sistemas?				•
25%	D13	2%	Existe informação geral sobre as instalações? (Breve descrição do edifício e dos sistemas)	•			
25%	D14	5%	Há documentos que explicitam as tarefas e responsabilidades dos intervenientes?			•	
25%	D15	5%	Existe registo de calendarização das tarefas?			•	
25%	D16	6%	As melhorias operacionais e de manutenção foram documentadas?				•
25%	D17	6%	As anomalias e deficiências são registadas num documento para o efeito?	•			
25%	D18	5%	As potenciais melhorias resultantes das medidas corretivas são registadas num documento para o efeito?				•
35%	O01	13%	As estratégias operacionais estão otimizadas?			•	
35%	O02	13%	Os sistemas operam de acordo com o que foi projetado? (são eficientes? Os sistemas de controlo funcionam?)	•			
35%	O03	13%	O estado atual dos equipamentos é aceitável?	•			
35%	O04	9%	Todos os equipamentos instalados respondem às solicitações dos utilizadores?		•		
35%	O05	15%	As instalações têm sido fiscalizadas?				•
35%	O06	12%	Foram aplicadas medidas de melhoria com impacto na fatura energética?				•
35%	O07	13%	Foram realizados testes/avaliações após a implementação das melhorias?				•
35%	O08	13%	Foram desenvolvidas estratégias de desempenho?				•
30%	M01	11%	Os procedimentos de manutenção estão otimizados?			•	
30%	M02	10%	O edifício tem sido alvo de estudos de benchmarking?			•	
30%	M03	10%	O plano de manutenção dos sistemas tem sido alvo de implementação e atualização?		•		
30%	M04	12%	Os pontos de monitorização estão colocados em locais relevantes?	•			
30%	M05	11%	O edifício está a ser monitorizado? (como? Com que método?)			•	
30%	M06	12%	Foram realizados testes, simulando condições especiais?			•	
30%	M07	12%	Há estudos sobre poupança energética que se pode obter com a resolução de anomalias?			•	
30%	M08	11%	Foram definidas metodologias de acompanhamento de resultados?			•	
30%	M09	11%	Procede-se à formação contínua dos técnicos de O&M?			•	

